

Tuomas Raeluoto

Savunpoiston suunnittelu maanalaisiin tiloihin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri AMK

Talotekniikka

Insinöörityö

02.05.2015

Tekijä Otsikko	Tuomas Raeluoto Savunpoiston suunnittelu maanalaisiin tiloihin
Sivumäärä Aika	46 sivua 02.05.2015
Tutkinto	insinööri AMK
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	DI Eero Laaksonen lehtori Erkki Sainio
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli toimia työkaluna Granlund Oy:lle savunpoiston suunnittelusta maanalaisiin tiloihin. Työssä tuodaan esille nykyisiä määräyksiä ja niiden tuomia haasteita suunnitteluun sekä tuotteille, joita käytetään savunpoistossa. Maanalaisia tiloja ovat esimerkiksi metro-asemat sekä metrotunnelit. Raideliikenteen lisääntyessä rakennetaan yhä monimutkaisempia sekä haastavampia maanalaisia tiloja, jolloin paloturvallisuus asettuu yhä suurempaan asemaan.</p> <p>Työ tehtiin kirjallisuuden mukaan sekä ohjaajien tuella. Työssä tarkasteltiin savunpoiston eri mitoituksia koneellisessa savunpoistossa. Insinööritöissä mitoitettiin savunpoistovirtoja, imuaukkoja, korvausilmanvirtoja sekä savunhallintakanavia. Perehdyttiin uusien sekä nykyisten määräyksien tuomia vaikutuksia suunnitteluun sekä savunpoistotuotteille.</p> <p>Savunpoistolla turvataan ihmisten poistuminen tilasta palotilanteessa. Sillä pyritään myös suojelemaan rakennusta, irtaimistoa, estää yleinen lieskahdus sekä turvaamaan pelastusviranomaisen toiminta. Savunpoiston tarpeellisuus maanalaisissa tiloissa on suuri, sillä siellä ei ole ikkunoita tai mitään muuta suunnistukseen hyödynnettävää kiintopistettä. Maanpinnalle suuntaaminen on ainoa tie pois.</p>	
Avainsanat	savunpoistomääräykset, maanalainen savunpoisto, integroitu savunpoisto, savunpoiston tarpeellisuus

Author Title	Tuomas Raeluoto Desingning smoke extraction to underground spaces
Number of Pages Date	46 pages 02 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC engineering, Design Orientation
Instructors	Eero Laaksonen, Master of Science in Technology Erkki Sainio, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project was to create a tool for designing smoke extraction. The project highlighted some new regulations about the endurance of products used for smoke extraction. The challenges designers and manufacturers are faced with due to the new regulations were introduced.</p> <p>The Bachelor's thesis looked into the sizing of smoke control ducts, the calculation of the amount of smoke produced by a fire, and the calculation of compensation air needed. This was done specifically for smoke extraction from underground spaces, where smoke behaves differently due to the lack of windows or any other exits but one to the surface. The thesis also provided some example solutions for underground design.</p> <p>Since more and more complex subway tunnels and underground spaces are built, the thesis touches a highly relevant issue. The thesis can be used to ensure smoke extraction to protect people and, spaces, and to secure the actions of the firefighters.</p>	
Keywords	regulations, smoke extraction, underground spaces, fire safety

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Savunpoiston merkitys ja tarpeellisuus	1
2.1	Savunpoiston tarpeellisuus	1
2.2	Savunpoiston luokittelu	3
2.3	Savunpoiston merkitys maanalaisissa tiloissa	3
3	Savunpoistossa käytettäviä tuotteita	5
3.1	Savunpoistopuhaltimet	5
3.2	Savunpoistoluukut	7
3.3	Savusulut	8
3.4	Savunhallintapellit	9
3.5	Savunhallintakanavat	11
3.5.1	Savunhallintakanavien vaatimukset	11
3.5.2	Kalsiumsilikaattilevy	12
3.6	Ohjauskeskukset	13
3.7	Paloilmoittimet	13
3.8	Laadunvalvontavaatimukset	14
4	Savunpoiston suunnittelu ja määräykset maanalaisissa tiloissa	14
4.1	Savunpoiston suunnittelua ohjaavat tavoitteet	14
4.2	Savun käyttäytyminen maanalaisissa tiloissa	15
4.2.1	Maanalainen palotilanne	15
4.2.2	Maanalaisten tilojen riskit	16
4.2.3	Savun kerrostuminen tunneleissa sekä ilmavirtauksen vaikutukset	16
4.3	Savulohkojen määräykset ja savusulkujen hyödyntäminen	17
4.4	Koneellisen savunpoiston mitoitus	19
4.4.1	Laituri-alueen savunpoisto	19
4.4.2	Korvausilman saanti	22
4.5	Koneellisen savunpoiston pääkomponenttien sijoittelu ja suunnittelu	24
4.5.1	Pääkomponentit	24
4.5.2	Savunpoistopuhaltimien sijoittelu	25
4.5.3	Savunhallintakanavien sijoittelu	25
4.5.4	Äänenvaimentimet savunpoistossa	26

4.5.5	Koneellisen savunpoiston imuaukon mitoitus	27
4.5.6	Savunhallintakanavien mitoitus	28
4.6	Palo-osastojen läpi menevät kanavat	32
4.7	Kuilut maanalaisissa tiloissa	34
4.8	Paineistus savunpoistossa	34
4.9	Pelastusviranomaisten rooli suunnittelussa	35
5	Case-tarkastelu	36
5.1	Kohteesta	36
5.2	Vaiheistus	36
5.3	Komponenttien toiminta palotilanteessa	39
5.4	Laituri-alue	39
5.5	Usean palo-osaston läpi menevä savunpoistokanava	42
6	Yhteenveto	44
	Lähteet	45

Lyhenteet ja määritelmät

Koneellinen savunpoisto. Savunpoistojärjestelmä, joka toimii puhaltimien avulla.

Lieskahdus. Savukaasujen äkillinen olosuhdemuutos eli syttyminen. Vaatii kerääntyneen lämpöenergian ja oikean pitoisuuden savukaasussa.

Oleskeluvyöhyke. Ihmisen oleskeluvyöhyke, joka ulottuu lattiapinnasta 1,8 metrin korkeuteen.

Palokatko. Palo-osastosta toiseen kulkevan kanavan tai putken eristys ja tiivistys läpimenon kohdalla.

Painovoimainen savunpoisto. Savunpoistotapa, joka aiheutuu tulipalosta, kun ilma lämpenee, laajenee, tiheyserot muuttuvat, jolloin kaasut pyrkivät nousemaan ylöspäin ja tasaamaan painetason poistumalla matalapaineiseen tilaan kuten ulkoilmaan.

Palo-kuorma. Palava materiaali, tulipalon yksi osa, jota vaaditaan syttymiseen. Esimerkiksi metrovaunut.

Poistumistie. Toimii hätäuloskäyntinä, kun halutaan esimerkiksi ulos palavasta tilasta maanpinnalle.

Savukaasut. Palamistuotteena tulleita kaasuja sekä yhdisteitä. Savukaasun sisältö riippuu palavan tuotteen materiaalista.

Savulohko. Tulipalo luo savupatjan. Tämä savupatja pyritään pitämään savusulkujen sekä savunpoiston avulla tietyllä alueella, jota kutsutaan savulohkoksi.

Suuntapainepuhallin. Puhallin, jolla voidaan siirtää suuria määriä esimerkiksi savua pois tilasta luodakseen savuttoman tilan.

Savusulku. Rajoitin, jolla ohjataan ja estetään savun kulkua tilassa.

Ylipaine. Painetaso, joka on suurempi kuin ympäröivän tilan paineentason.

1 Johdanto

Vuonna 1960 perustettu Granlund Oy on Suomen yksi suurimmista talotekniikan suunnitteluyrityksistä. Se toimii kaikilla talotekniikkaan liittyvillä palvelualoilla ja panostaa erityisesti energiatehokkuuteen. Maanalainen LVIS-suunnittelu kuuluu myös Granlundin asiantuntevaan osaamiseen. Maanalaisia tiloja ovat esimerkiksi huoltotunnelit, metrotunnelit tai maanalaiset parkkihallit.

Tämä insinöörityö tehtiin Granlundilla oman työni ohella. Työn tavoitteena oli tuoda esille savunpoistoon liittyviä määräyksiä, standardeja sekä sovittaa niitä konkreettisiin suunnitteluratkaisuihin. Työn tarkoituksena oli myös toimia sisäisenä työkaluna Granlundille savunpoistoon liittyvässä suunnittelussa sekä tutkia, miten uudet määräykset vaikuttavat savunpoistossa käytettäviin tuotteisiin.

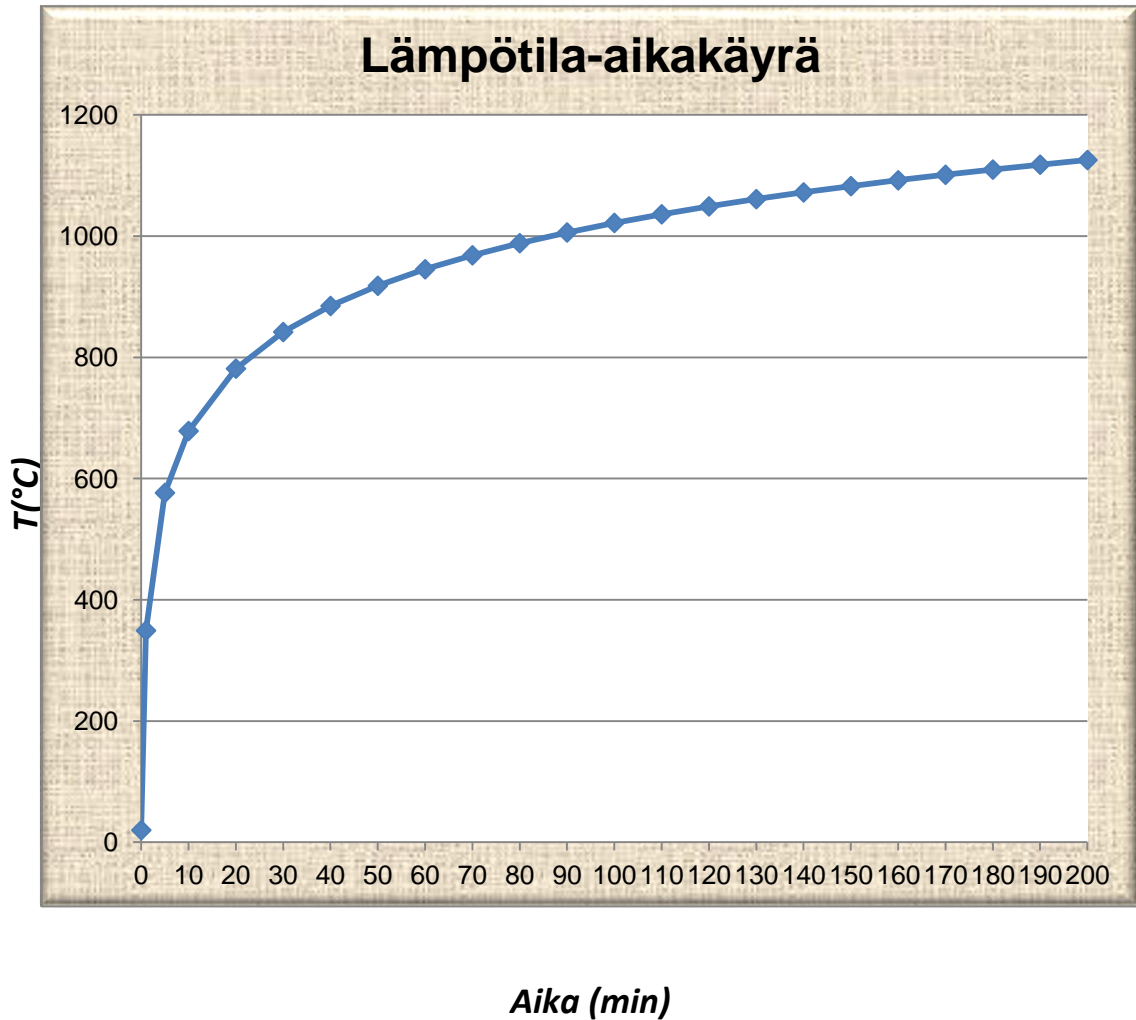
2 Savunpoiston merkitys ja tarpeellisuus

2.1 Savunpoiston tarpeellisuus

Tulipalon sattuessa syntyy myös savukaasuja. Tulipalo lämmittää ympäröivää ilmaa mikä aiheuttaa ilman laajenemisen. Tästä johtuen tilan paine nousee jota se yrittää tasata siirtymällä toisiin tiloihin. Samalla kun tulipalo aiheuttaa ylipainetta tilaan, se tuottaa ihmisille vaarallisia savukaasuja. Korkea paine kuljettaa mukanaan savukaasuja muihin tiloihin aiheuttaen näin palon leviämisen. Savunpoistolla kaasujen leviäminen pyritään estämään. [3, s. 7.]

Kiinteistön omistajalla on vastuu rakennuksen turvallisuudesta, mikä tarkoittaa, että omistajalla on myös vastuu savunpoistojärjestelmästä. Savunpoisto pitää suunnitella hyvin, jotta vältetään lisävahingoilta sekä palokuolemilta, joita vaaralliset savukaasut aiheuttavat. Savu aiheuttaa myös rakennuksen irtaimistolle sekä itse rakennukselle vahinkoja. Tulipalon syttyessä on tärkeää saada ihmiset ulos rakennuksesta tai tilasta. Jotta tämä saavutettaisiin, on poistumisteiden oltava vapaana palokaasuista. Savunpoistolla pyritään turvaamaan ihmisten poistuminen tilasta. Jos palo ehtii kehittyä niin pitkälle, että poistumisteille alkaa tulvia savua, on hyvin suunnitellun savunpoiston merkitys suuri. Tällöin pyritään luomaan poistumisreiteille, ihmisen oleskeluvyöhykkeel-

le, savusta vapaa alue, jolloin välttyttäisiin uhreilta. Reittien pitäminen vapaana savusta auttaa myös pelastustyöntekijöiden työn toteutumisen turvallisemmin. [2, s. 14.]



Kuva 1. Lämpötila-aikakäyrä tulipalosta standardin ISO-834 mukaan [1].

Kuva 1 havainnollistaa standardin ISO-834 mukaista paloa, jossa palo-kuorma ei lopu, ja sitä, miten lämpötila nousee koko ajan suhteessa aikaan. Kuten kuvasta huomataan, palon alkuvaiheesta ei mene kuin noin 7 minuuttia, kun palo on saavuttanut jo 600 °C:n lämpötilan. Savunpoiston on siis jo palon alusta lähtien tärkeää olla toiminnassa. [1]

2.2 Savunpoiston luokittelu

Savunpoisto voidaan toteuttaa joko koneellisena tai painovoimaisena. Se voidaan luokitella kolmeen eri tasoon. Savunpoistotaso 1 on kaikista heppoisin, eikä se aiheuta mitään erityisiä toimenpiteitä toteutuakseen. Riittää, että tilassa on riittävä mahdollisuus savunpoistoon, kuten ikkunoita ja ovia hyödyntäen. Palokunnan toimesta esimerkiksi ikkunat rikotaan ja kellarin kautta tuodaan korvausilma rakennukseen. Tämän tason tilat ovat yleensä asuinrakennuksia tai toimistorakennuksia.

Savunpoistotaso 2 vaatii jo enemmän kiinteistöltä savunpoistoon valmistautumista. Tasossa 2 hyödynnetään savunpoistokomponentteja sekä laitteita, kuten puhaltimia, luukkuja, peltejä ja kanavia. Savunpoistojärjestelmä käynnistetään joko pelastushenkilökunnan toimesta ohjauskeskuksesta tai järjestelmään voi myös asentaa lämpötunnistimet, jolloin järjestelmä käynnistyy itse havaittuaan lämmön nousseen yli raja-arvon.

Savunpoistotaso 3 on ylin taso tästä luokittelusta, ja kyseinen taso on myös täysin automaattinen. Kolmannen tason järjestelmä perustuu laitteeseen, joka antaa käskyn järjestelmälle käynnistyä. Saatuaan herätteen järjestelmä käynnistyy itsenäisesti kyseessä olleella osastolla. Myös muut laitteet, kuten ilmanvaihto ja palopellit, sulkeutuvat kiinni, estäen näin savun leviämisen toisiin palo-osastoihin. Tason 3 poistojärjestelmä on erinomainen maanalaisiin tiloihin, kuten metroasemille. Automatisoitu järjestelmä havaitsee palon, jolloin ihmiset osaavat siirtyä poistumisteille sekä aloittaa nousun maanpinnalle ennen kuin pelastushenkilöstö on edes paikalla. [2, s. 38–40.]

2.3 Savunpoiston merkitys maanalaisissa tiloissa

Savunpoisto maanalaisissa tiloissa on hieman haastavampaa kuin tavallisissa rakennuksissa. Maan alla ei ole ikkunoita, joiden avulla pystyisi suunnistamaan, savu haluaa poistua ylöspäin ulos, mikä aiheuttaa sen, että poistumisreitti saattaa olla täynnä savua. Tämän lisäksi ihmisluonnolle ominaiset reaktiot vievät aikaa, mikä antaa tulipalolle mahdollisuuden levitä näin pienentäen ihmisten mahdollisuutta selvitä vahingoittumatta. Yksikertaisella mitoitusmenetelmällä voidaan kuvata, miten kauan ihmisellä menisi aikaa poistua esimerkiksi metroasemalta. Pystymme seuraavalla kaavalla arvioimaan tätä poistumiseen vaadittavaa aikaa.

$$t_a + t_b + t_c \leq t_{krit}$$

jossa	t_a	on havaitsemiseen menevä aika
	t_b	on reagoimiseen kuluva aika
	t_c	on siirtymiseen kuluva aika
	t_{krit}	on kriittisten olosuhteiden syntymiseen menevä aika

Arvioidaan, että havaitsemiseen menee noin 10 sekuntia, tämän jälkeen reagoimiseen noin 5 sekuntia ja sen jälkeen vielä siirtyminen maanpinnalle. Ihminen kävelee noin 4 km/h eli 1,1 m/s, ja oletetaan, että asema on 30 m:n syvyydellä. Oletetaan liukuporaiden pituudeksi 42 m. Tällöin 46,6 sekuntia menee aikaa siirtymiseen. Näin saamme menevän ajan:

$$10 + 5 + 46,6 = 61,6 \text{ sekuntia}$$

Tähän aikaan ei ole huomioitu ollenkaan ihmisten sijaintia asemalla, väenpaljoutta tai oletusta siitä että pystyy liikkumaan 1,11 m/s. Tästä syystä on hyvä lisätä 10 %:n virhemarginaali, jotta saisimme todennäköisemmän arvon. Tällöin kuluva aika olisi $61,6 \pm 6,2$ sekuntia. Tätä ei voi silti pitää tarkkana aikana, koska on aina muuttujia, jotka aiheuttavat tulokseen muutoksia, mutta kaava antaa hyvän suunta-arvion siitä, kuinka kauan aikaa poistumiseen voisi mennä. Metroasemilla on annettu yksinkertaiset vaatimukset poistumisen osalta. Kaikkien ihmisten pitää olla pois laiturialueelta 4 minuutissa, ja heidän pitää olla 6 minuutissa saapuneena turvalliseen paikkaan. [4, s. 97.]

Savunpoiston tarpeellisuutta voidaan siis pitää tärkeänä osana maanalaisissa tiloissa, jotta ihmisten poistuminen vielä 3 minuutinkin kohdalla olisi jollain tasolla siedettävää myös poistumisteillä maanpinnalle.

3 Savunpoistossa käytettäviä tuotteita

3.1 Savunpoistopuhaltimet

Savunpoistopuhaltimia voidaan käyttää savunpoistoon, savutuuletukseen tai ihan tavalliseen ilmanvaihtoon jos kone on sopiva siihen. Savunpoistopuhaltimia on kolmea tyyppiä: aksiaali- tai keskipakoispuhaltimia sekä huippuimureita. Puhaltimen voi asentaa ulkopuolelle palo-osastosta, kuten maanpinnalle, jos kyseessä on maanalainen tila. Puhaltimen voi myös asentaa kanaviin palo-osastoinnin sisällä. Osastoinnin sisälle asennettaessa puhaltimeen kohdistuu paljon enemmän räsitusta lämpötilaan nähden, sillä sen on kestävä määräyksien mukainen aika palotilanteessa. [2, s. 195.]

Savunpoistopuhaltimille on asetettu määräyksiä kestävyys- ja toimivuuden suhteen. Ennen hyväksyntää puhaltimelle suoritetaan testauksia standardin SFS-EN 12101-3 mukaan. Tyyppihyväksyntä tulee suorittaa kyseisen standardin liitteiden mukaan ja laatia niistä testausselostet standardin määräyksien mukaan. Testaukset sisältävät mm. seuraavia tehtäviä:

- puhaltimien siipien maksimikuormitus
- siipien keskipakovoiman laskeminen, siipi pitää olla jaettuna osiin
- siiven liitosjännitysten laskeminen
- suorituskyvyn testaaminen normaaliolosuhteissa
- testiuunin kanssa testaaminen suorituskyvyn takaamiseksi.

Kaikki testit suoritetaan ja raportoidaan. Tyyppihyväksyntä merkitään komponentin runkoon CE-merkintänä yhdessä tietojen kanssa. Kuvassa 2 on esimerkki CE-merkinnästä. [6, s. 13–14, 20–21.]



Kuva 2. Esimerkki CE-merkinnästä kojeessa standardin SFS-EN 12101-3 mukaan [6].

Savunpoistopuhaltimet tulee luokitella lämpötila/aikaluokituksella. Luokitukset ovat F200, F300, F400, F600, F842. Numerot ilmaisevat lämpötila kestävyyttä. Lämpötilaluokituksen perään pitää vielä lisätä aikaluokitus. Esimerkiksi F400 (120). Tämä tarkoittaa sitä, että puhallin on toimintakykyinen 400 °C:ssa 120 minuutin ajan. Muille luokille on asetettu myös minimi-toiminta ajat SFS-EN 12101-3 -standardissa. Taulukossa 1 on esiteltynä lämpötila- sekä aikaluokitukset. [6, s. 9–10.]

Taulukko 1. Vähimmäisajat eri luokille [6].

Luokitus	Lämpötila °C	Vähimmäistoiminta-aika minuutteina
F200	200	120
F300	300	60
F400	400	90 tai 120
F600	600	60
F842	842	30

Puhaltimien suunnittelussa pitää ottaa huomioon puhaltimien sijainti ja ympäristötekijät. Varsinkin lumikuorma pitää ottaa huomioon jos koje on ulkona tasaisella alustalla. Puhallin luokitellaan SL-luokkaan kuormituksensa perusteella. Esimerkiksi SL250-luokka, jossa 250 tarkoittaa pascaleina mitattua lumikuormaa, jota on käytetty testattaessa. Puhaltimen pitää aueta 30 sekunnin kuluessa herätteen saatuaan. Kuvassa 3 on esimerkkinä kammiopuhallin. [6, s. 11.]



Kuva 3. Fläkt Woods, Centriflow Plus -kammiopuhallin [5].

3.2 Savunpoistoluukut

Savunpoiston yksi komponenteista koneellisessa savunpoisto järjestelmässä on savunpoisto luukut. Savukaasut johdetaan kuilujen, kananvoinnin tai savusulkujen ohjaamina puhaltimen kanssa savuluukuille, jotka päästävät kuumat, myrkylliset savukaasut ulkoilmaan. Savunpoistoluukun voi asentaa joko maanpinnalle, katolle tai seiniin yläreunaan. Eri luukut voidaan luokitella savunpoisto tason mukaan. Tason 1 luukut ovat käsin aukaistavia luukkuja, tason 2 luukut ovat lämpösulakkeella tai sähköisellä toimilaitteella ohjauskeskuksesta laukaistavia ja meidän tarkastelemamme taso 3 on täysin automaattisesti herätteiden eli ilmaisimien avulla laukeava järjestelmä. [2, s. 112.]

Savunpoistoluukkujen tulee aueta vähintään 60 sekunnissa käynnistämisen tai herätteen saamisen jälkeen. Niiden on lukkiuduttava auki-asentoon niin kauaksi aikaa, kun ne palautetaan normaaliin alkutilaan. Aikaisemmin mainittiin ympäristön huomioon ottaminen rasituksen kannalta, esimerkkinä lumikuorma, mutta on myös muita tekijöitä, jotka pitää ottaa huomioon luukkujen suunnittelussa. Sivutuulen vaikutus täytyy myös ottaa huomioon standardin SFS-EN 12101 -2 mukaisesti suoritettaessa testejä. Luukku tulee altistaa epäedullisemmalle tuulen suunnalle käyttäen sivutuulen nopeutta 10 m/s. Luukun ollessa altistettuna tuulikuormalle standardin SFS-EN 12101-2 luokituksen mu-

kaan se ei saa aueta tai vääntyä pysyvästi. Testin jälkeen luukun tulee aueta 60 sekunnin kuluessa palotilanteen mukaiseen asentoon. [15, s. 20, 24.]

Savunpoistotasossa 3 luukkujen lukumäärä yhdelle savulohkolle on suositeltu 4 kappaletta, mutta suunnittelija lopulta mitoittaa oikean määrän aina jokaiselle savulohkolle. Luukku ei saa olla liian iso verrattuna savupatjan paksuuteen. Tämä voi aiheuttaa sen, että puhdasta ilmaa alkaa virrata luukun keskeltä. Ilman virtaaminen keskeltä taas laskee suuresti poistoluukun tehokkuutta. Savunpoistoluukut sijoitetaan tasaisesti savulohkon alalle. Ne tulee sijoittaa niin, että ne eivät edesauta palon leviämistä muihin palo-osastoihin. Minimietäisyys luukkujen välillä on kaksi kertaa savunpoistoluukun suurin halkaisija. Kuitenkin sijoittelussa saa olla suurin etäisyys 20 metriä. [2, s. 113.]



Kuva 4. Keraventin Orivent 51 -savunpoistoluukkuja [16].

3.3 Savusulut

Standardin SFS-EN 12101-1 mukaan savusulut voidaan ryhmitellä kahteen eri osioon: kiinteisiin ja siirrettäviin savusulkuihin. Kiinteät savusulut voivat olla esimerkiksi rakenteita, seiniä. Näille kiinteille rakenteille on kuitenkin sovellettava ja noudatettava edellä mainitun standardin vaatimuksia lämmön ja tiiviydén suhteen. Tiiviydén suhteen soveltuvin osin materiaalin on läpäistävä testi, jossa ympäröivä ilma nostetaan 200 °C:seen ja materiaali ei saa vuotaa yli 25 m³/h neliömetriä kohti. Lämpötestissä materiaali asetetaan testiuuniin, jossa keskilämpötila on pidettävä 620 °C:n tasolla. Tämä taso on

saavutettava uunissa noin 6 minuutissa ja 40 sekunnissa, jotta varmistetaan että koe-kappaleeseen kohdistuu 600 °C:n lämpötila. Testin aikana materiaali ei saa syttyä, eikä siitä saa irrota palasia tai kappaleita. Materiaalia pidetään uunissa halutun luokittelun mukaisen ajan. Taulukossa 2 on esitelty savusulkujen luokitukset. [9, s. 56, 64.]

Taulukko 2. Savusulkujen luokitukset lämpötilan ja ajan mukaan [9].

Luokitus	Lämpötila °C	Vähimmäiskesto aika minuutteina
D30	600	30
D60	600	60
D90	600	90
D120	600	120
DA	600	>120

Siirrettävien savusulkujen pitää noudattaa näitä samoja testivaatimuksia, joita standardi SFS-EN 12101-1 + A1 asettaa. Siirrettävien savusulkujen on mentävä auki-asentoon saatuaan esimerkiksi herätteen ohjauskeskukselta. Sulkujen sijoittelu on tehtävä siten, että ne eivät aiheuta tulipalotilanteessa ylimääräistä sekasortoa tai paniikkia ihmisten keskuudessa. Tätä varten voidaan järjestää yleinen kuulutus, joka sisältää tiedon sulkujen laskeutumisesta. [2, s. 176, 180.]

Savusulkuja suunniteltaessa on otettava huomioon myös niiden väliin jäävät raot. Niitä ei saisi jäädä, koska tämä aiheuttaa savuvuotoja. Rakojen koot on minimoitava, sulkujen laskeutuessa niiden on asetettava tiiviisti tai limittäin. Jos savusulkujen väliin jää kuitenkin rako, on suunnittelijan otettava asia huomioon mitoituksessa. Standardi SFS-EN 12101-1 +A1 esittää yleisimmät vuotokohdat sekä kaavat, joilla vuotojen määrät voidaan mitoittaa. [2, s. 181.]

3.4 Savunhallintapellit

Savunhallintapellit estävät savun kulkeutumisen ja leviämisen syttymisosastolta toiseen osastoon. Peltien avulla rajoitetaan myrkyllisten kaasujen leviämistä ja hallitaan savunvirtoja. Yleensä kun peltejä käytetään, ne laitetaan kiinni järjestelmään, joka huolehtii useasta eri palo-osastosta. Savunhallintapellit voivat olla osa ilmanvaihtoa sekä savunpoistoa, tai pellit voi olla tarkoitettu ainoastaan savunpoistoon. Savunhallintapeltien määräykset ja vaatimukset esitetään standardissa SFS-EN 12101-8. [17, s. 8.]

Usean palo-osaston kattava savunhallintapellin asento on yleensä joko suljettuna tai avoinna. Tämä riippuu siitä, missä ja miten savuvirtojen kulkeutuminen on suunniteltu. Yhden palo-osaston savunhallintapelti ei tarvitse täyttää samanlaista palo-kestävyys vaatimusta kuin usean palo-osaston kattava savunhallintapelti. Usean palo-osaston kattava savunhallintapellin on ylläpidettävä palo-osastointia. Pelti ei saa edesauttaa savun tai tulipalon leviämistä, ja sen on kestävä kuumuus standardin SFS-EN 12101-8 vaatimusten mukaan. Savunhallintapellin on oltava etäohjattava, jolloin se voidaan sulkea tai avata etänä. Tämän lisäksi pellin on muutettava asennosta toiseen 60 sekunnissa. Esimerkiksi jos pelastusviranomaiset haluavat sulkea savunhallintapellin etäohjauksella, on pellin sulkeuduttava 60 sekunnin päästä kokonaan kiinni saatuaan herätteen. [17, s. 20.]

Useaa palo-osastoa palvelevien peltien on oltava palonkestäviä. Niiden palo-kestävyysluokitukset sekä merkinnät on ilmoitettava standardin SFS-EN 13501-4 mukaisesti. Merkinnöistä pitää käydä ilmi mm. tiiviys ja eristävyys (EI) merkintä, savunvuodon merkintä sekä mahdolliset lisämerkinnät kuten AA, joka ilmaisee automaattista käynnistymistä. Usean palo-osaston kattaville savunhallintapelleille tehdään palo-kestävyydestit polttouuneissa. Näiden peltien on täytettävä standardin SFS-EN 12101-8 asettamat testimääräykset. Jos savunhallintapelti on tarkoitettu korkeaan lämpötilaan, siltä vaaditaan tietty toimintavaatimus HOT 400/30, jolloin savupelti toimii 400 °C:ssa 30 minuuttia. Tämä vaatimus on esitetty standardissa SFS-EN 1366-10. [17, s. 26, 28.]

Esimerkkinä usealle palo-osastolle kattavalle savunhallintapellille voidaan käyttää Fläkt Woodsin ESAM-savunhallintapeltiä (kuva 5), joka täyttää standardin 12101-8 vaatimukset. Pelti täyttää EI120:n S-tason vaatimukset. Savunhallintapelti on koteloitu kalsiumsilikaattikoteloon, joka on palonkestävä. Tämä savunhallintapelti voidaan kytkeä toimimaan esimerkiksi savunilmaisimen herätteen perusteella. [18, s. 1.]



Kuva 5. Fläkt Woodsin, ESAM-savunhallintapelti. Soveltuu usealle palo-osastolle. [18]

3.5 Savunhallintakanavat

3.5.1 Savunhallintakanavien vaatimukset

Savunhallintakanavien tehtäviin kuuluu savun poistaminen syttymisosastolta sekä tärkeiden alueiden, reittien savuttomuuden ylläpito. Savunhallintakanavajärjestelmä voi kattaa samaa aikaa usean eri palo-osaston. Kanavat voivat toimia joko painovoimaisena yhdessä savuluukkujen kanssa, tai kanavat voivat olla osa koneellista savunpoistojärjestelmää. Savunhallintakanavien on täytettävä standardin SFS-EN-12101-7 asettamat vaatimukset ja testit. Kanaville tehdään standardin mukaan testejä mm. tiiviyden, eristävyys, savuvuodon sekä mekaanisen lujuuden suhteen. Kaikista tuloksista on ilmoitettava luokitus. Testeissä suoritetaan polttokokeita, joissa testataan kanavien vuotoa 15 minuutin polton jälkeen sekä sen kykyä säilyttää muoto ja lujuus. Kanavien tiivisteiden on oltava sopivat oikeisiin olosuhteisiin. Siten tiivisteiden on kestävä korkea lämpötilaa, kestävä mekaanisia vaurioita sekä kestävä järjestelmän käyttöajan ajan. Tiivisteet eivät saa heikentää järjestelmän luotettavuutta, niin että siellä tiivisteiden kautta tapahtuisi savuvuoto. Näitä savuvuotoja ei ole otettu huomioon laskennas-

sa ja suunnittelussa, mikä vaikuttaa taas järjestelmän toimivuuteen. Savunhallintakanavien kestävyys ilmoitetaan EI-luokituksella, kuten palo-osastot tai palorajoittimet. Rajoitettu savuvuoto, joka täytyy myös testata, ilmoitetaan tunnuksella S. Savunhallintakanaviin eivät kuulu pelkästään kanavat. Kannakkeet ovat osa järjestelmää, jolla tuetaan kanava kattoon tai seinään. Kannakkeiden tulee tukea kanavia niin, että tuki ei haittaa mitenkään niiden toimintaa, ja kannakkeiden on myös täytettävä standardin SFS-EN 12101-7 vaatimukset ja testit. Myöskään huoltoluukut, säätölaitteet, äänenvaimentimet sekä muut järjestelmän komponentit eivät saa aiheuttaa laitteistolle haittaa tai vaurioita, kun järjestelmä poistaa savua. [19, s.16, s.18–20.]

Nykyisten palokestävyiden uusien määräyksien takia, jotka standardi SFS-EN 12101-7 asettaa on vaikea löytää sellaista kanavaa, joka pystyisi toimimaan usealla palo-osastolla samaa aikaa. Kanavien palokestävydet eivät täytä vaatimuksia. Tästä syystä moni savunpoistokanava, joita markkinoilla tarjotaan, on tarkoitettu vain yhdelle palo-osastolle toimivaksi. Yksi ratkaisu tähän on betonista tehty kanava, joka täyttää usean palo-osaston vaatimukset palokestävydestä. Tämä aiheuttaa suunnittelijalle haasteita, kun yritetään luoda savunpoistojärjestelmää. Kuitenkin korvausilmaa tuovia kanavia tämä ei koske, eli korvausilmakanavan saa vielä viedä usean palo-osaston läpi. Kuvassa 6 on esimerkki yhtä palo-osastoa palvelevasta savunhallintakanavasta testiuunissa.

3.5.2 Kalsiumsilikaattilevy

Kalsiumsilikaattilevy on kevyt ja eristävä levy. Sillä on hyvä lujuuskestävyys, jonka takia sitä pystytään myös käyttämään monessa eri paikassa, kuten palosuojauksena. Levyä pystytään työstämään helposti tarpeen mukaan. Kalsiumsilikaattilevyllä on hyvä lämpökestävyys, minkä ansiosta sitä voidaan käyttää savunhallintakanavana. Levy täyttää standardin SFS-EN 12101-7 vaatimukset, joten sitä pystytään käyttämään usean palo-osaston kattavana kanavana. Levy on siis hyvä vaihtoehto esimerkiksi betonille, jota on hankala asentaa kattoon roikkumaan. [27, s. 1.]



Kuva 6. Fläkt Woods, yhtä palo-osastoa palveleva ESAD-savunhallintakanava testiuunissa 2 tunnin ajan 600 °C:ssa [20].

3.6 Ohjauskeskukset

Savunpoiston ohjauskeskukset on sijoitettava sellaiseen paikkaan, jossa pelastusviranomaiset pääsevät niihin käsiksi helposti. Keskuksista käynnistetään puhaltimet ja savunpoistoluukut, mikäli tila tai kohde ei ole suojaustasoa 3, jossa nämä vaiheet tapahtuvat automaattisesti herätteiden avulla. Laukaisukeskukset sekä ohjauskeskukset pitää sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa ne ovat suojeltuna mahdollisimman kauan mahdolliselta tulipalolta. Laukaisukeskus olisi hyvä olla mahdollisimman lähellä komponenttia kaapeleiden aiheuttamien häviöiden takia. Kaapelit on myös suojattava määräyksien ja luokitteluiden mukaan palolta ja kuumuudelta. [2, s. 200.]

3.7 Paloilmoittimet

Paloilmoittimet, kuten savunilmaisimet, ovat automaattisessa savunpoistojärjestelmässä ensimmäinen toimilaite, joka reagoi muuttujaan ilmassa eli savuun. Lämpötilailmaisin voi myös havaita ilman lämpötilan kohoamisen. Savunpoistotaso 3 kuuluu luokkaan, jossa ilmoitin ohjaa ohjauskeskusta. Ilmaisimilla pystyy muokkaamaan ja ohjelmoimaan hyvinkin savunpoistojärjestelmää luoden näin mahdollisuuden siihen, että suunnittelija pystyy muokkaamaan järjestelmän sopivaksi jokaiselle kohteelle. Kuvassa 7 esimerkkinä optinen savunilmaisin. [2, s. 173.]



Kuva 7. Fläkt Woods, FDKC-optinen savunilmaisinsä, kanaviin asennettava [21].

3.8 Laadunvalvontavaatimukset

Komponentin tai kojeen valmistajan täytyy pitää yllä valmistajan laadunvalvontajärjestelmää ja dokumentoida kaikki testit, jotka on tehty kyseisen kojeen standardin mukaan. Valmistajan pitää varmistaa, että kaikki tuotteet, jotka päätyvät markkinoille, täyttävät standardissa esitetyt määräykset. Esimerkiksi savunpoistoluukkujen kohdalla pitää testit tehdä standardin SFS-EN 12101-2 mukaan. Dokumenteista pitää käydä ilmi, että on tehty säännöllisesti testejä ja tarkastuksia niin valmiista tuotteesta kuin siinä käytettävistä raaka-aineistakin. Laadunvalvonta-järjestelmän dokumentit ja esittelyn tulee olla niin selkeä ja yksityiskohtainen, että ei ole mahdollisuutta minkäänlaisille ristiriitaisuuksille. [15, s. 26.]

4 Savunpoiston suunnittelu ja määräykset maanalaisissa tiloissa

4.1 Savunpoiston suunnittelua ohjaavat tavoitteet

Suunnittelulla pyritään saavuttamaan tavoitteet, jotka on asetettu määräyksissä. Pääasiassa nämä tavoitteet ovat

- välttää henkilövahingot
- vähentää omaisuusvahinkojen määrää
- estää yleinen lieskahdus
- määräyksien täyttäminen
- pelastustoiminnan turvaaminen ja helpottaminen
- savun ohjaaminen hallitusti. [2, s.17–18, 28.]

4.2 Savun käyttäytyminen maanalaisissa tiloissa

4.2.1 Maanalainen palotilanne

Maan alla tunneleissa syttyvä tulipalo käyttäytyy hieman eri tavalla kuin esimerkiksi tulipalo rakennuksessa tai maanalaisessa parkkihallissa. Esimerkiksi parkkihallissa savu voi virrata useaan eri suuntaan suuntapainepuhaltimien avustuksella, jolloin tilaan on myös suunniteltu usea savunpoisto-aukko, josta savu pääsee purkautumaan ulos.

Palot erottuvat palokuormansa puolesta, esimerkiksi metrotunneleissa ei ole oikeastaan mitään muuta palokuormaa kuin metrovaunut. Maan alla tunnelissa ei ole ikkunoita tai vuotoaukkoja, joihin savu pyrkii siirtymään. Tunnelissa on kaksi suuntaa, johon savu kulkee, tunnelia eteenpäin sekä tunnelia taaksepäin palon alkulähteestä. Tunneleissa on eroavaisuuksia ilmanvaihdon, lieskahduksen sekä savun kerrostumisen suhteen. Savu, jonka palonlähde on tunnelissa, rupeaa virtaamaan kattoa pitkin molempiin suuntiin pitkänä savuvirtauksena. Tunnelissa virtaavan ilman nopeus määrittelee, kuinka pitkälle savu kulkeutuu vastavirtaan. Tulipalon koko, tunnelin muoto ja koko vaikuttavat siihen, kuinka pitkä tämä virtaus katossa on, mutta lopulta virtauksen päässä savu alkaa kerrostua ja laskeutua tukkien käytävän savusta.

Kun savunpoisto kytketään päälle, ylävirtauksen päässä savu ei hälvene heti, vaan ensiksi alavirran puolella savu poistuu, minkä jälkeen myös ylävirran puolelta savu hälvenee. Savunpoiston käynnistäminen myös alentaa tunnelin lämpötilaa, esimerkiksi tunnelin seinistä, joihin on varastoitunut lämpöenergiaa tulipalosta. Savun käyttäytyminen on erittäin riippuvaista ilman virtauksesta tunnelissa eli painetasosta sekä tulipalon sijainnista tunneliin nähden. [22, s. 3, 5–6.]

4.2.2 Maanalaisten tilojen riskit

Palokuorma on erilainen maanalaisissa tiloissa kuin esimerkiksi rakennuksissa. Tämä ei tarkoita kuitenkaan, etteikö tulipalon vaarallisuus ja riski olisi silti yksi suurimmista riskeistä esimerkiksi matkustettaessa metrolla. Ihmismäärät ovat suuria, ja tilat ovat ahtaat. Menneisyydessä tapahtuneet metro-palot ovat osoittaneet, että sähköihin tullut vika on ollut yksi yleisimmistä syistä. Vuonna 1995 Azerbaidžanin pääkaupungissa Bakussa tapahtunut onnettomuus, jonka syynä oli sähkövika, vaati 289 uhria ja 265 ihmistä loukkaantui, ja Etelä-Koreassa Daegussa vuonna 2003 tapahtunut tulipalo, jonka syyksi on ilmoitettu tuhopoltto, vaati 198 uhria ja 146 ihmistä loukkaantui. Tuhopoltot ovat yksi vakavimmista uhkista, vaikka ne ovat harvinaisia. Metrotunneleiden kasvaessa yhä monimutkaisemmiksi on paloturvallisuus otettava yhä tarkemmin huomioon. [22, s. 19.]

4.2.3 Savun kerrostuminen tunneleissa sekä ilmvirtauksen vaikutukset

Tulipalossa syntyvät savukaasut koostuvat palotuotteista sekä ilmasta. Palotilanteen alussa itse kuumuus ei aiheuta välttämättä vielä niin suurta vaaraa, vaan tulipalosta irtoavat palotuotteet ja ilma sekä niiden yhdisteet aiheuttavat vaaran ihmisille varsinkin siinä vaiheessa, kun savu alkaa laskeutua ihmisen oleskeluvyöhykkeelle. Tulipalon käyttäytyminen ja kerrostuminen tunnelissa on erittäin riippuvainen tunnelissa olevan ilmvirtauksen nopeuden suhteen. Tunnel Fire Dynamics -teos jakaa nopeudet tunneleissa kolmeen eri nopeuteen. [22, s. 321–322.]

Ensimmäisessä, hitaimmassa nopeudessa tulipalon liekki on melko pitkä. Savukaasut nousevat tunnelissa molempiin suuntiin, tunnelin virtaussuuntaa vastaan kulkeva savu on pituudeltaan pisimmillään näissä nopeuksista. Joissain tapauksissa savu saattaa olla molempiin suuntiin yhtä pitkä. Ilmvirtaa vastaan kulkeva savu voi pituudeltaan ylittää jopa 25-kertaiseksi tunnelin korkeuteen suhteutettuna. Tunnelin virtauksen alapuolella savu laskeutuu hieman, mutta ei niin paljon, etteikö maan ja savupatjan väliin jäisi väliä. Yleensä tämän nopeuden tunneleissa on painovoimainen ilmanvaihto. [22, s. 322.]

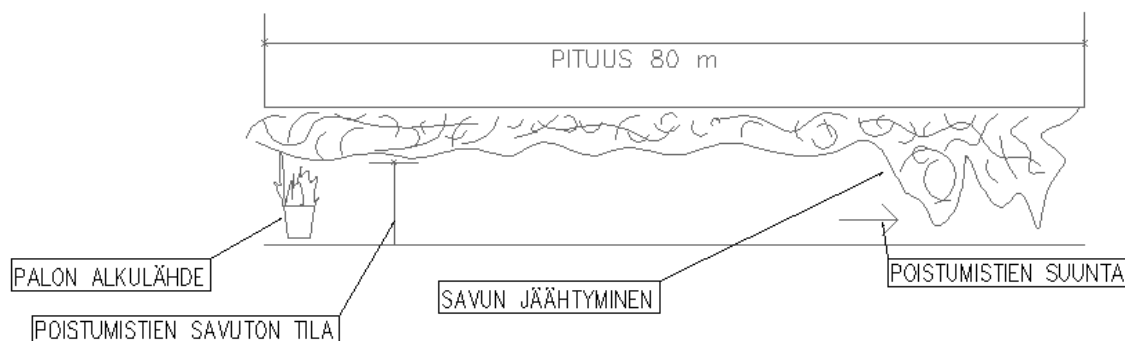
Keskinkertaisella nopeudella olevat tunnelit ovat joko painovoimaisella tai koneellisena, kuten savunpoistolla tai suuntapainepuhaltimilla varustettuja tunneleita. Keskinkertaisella nopeudella tulipalon liekit kääntyvät enemmän ilmvirtauksen suunnan mukaisesti. Savu nousee ylöspäin, ja se kääntyy ilmvirtauksen mukaisesti. Savu voi kulkeutua

myös virtaussuunnan vastaisesti melkein samalle pituudelle kuin pienimmälläkin nopeudella, mutta on myös mahdollista, että savu ei virtaa ollenkaan vastavirtaan. Virtauksen alapäässä savu laskeutuu maahan asti, mikä johtuu siitä, että liekit ovat nyt enemmän kääntyneet virtauksen suunnan mukaan. [22, s. 323.]

Nopeimmalla ilmapirtauksella liekit kääntyvät melkein vaakatasoon nousten kuitenkin kattoa kohti. Savu ei tällä nopeudella käänny ollenkaan vastavirtaan. Liekkien suuntauksen vuoksi savu levittäytyy kokonaan tunnelin korkeudelta. Savun koostumus on kahta eri tuotetta, eli kylmää ilmapirtta sekä tulipalossa tuotettua kuumia savukaasuja. Maan vetovoiman takia saattaa olla, että näiden kahden virtauksen kohdatessa ne sekoittuvat turbulentlyisesti, vaikka näillä kahdella virtauksella on eri tiheydet. Tämä voi johtaa myös siihen, että osa kylmästä ilmapirrasta ohittaa kuumat savukaasut ilman että se sekoittuu ollenkaan siihen. [22, s. 324.]

4.3 Savulohkojen määräykset ja savusulkujen hyödyntäminen

Palo-osastoissa on savulohkot. Savulohkoille on asetettu määräyksiä ja kokoja Suomen rakentamismääräyskokoelmissa E1 sekä E2, jotta savunpoisto toimisi oikein yhdessä savunpoistojärjestelmän kanssa. Tulipalon syttyessä lämmin savukaasu nousee ylös katonrajaan. Ylhäältä katonrajasta savun on tarkoitus ohjauksien avulla poistua savunpoistojärjestelmään. Savulohkon ollessa liian suuri reunoilla oleva savu ehtii jäähtyä, mikä aiheuttaa sen, että savu alkaa laskeutua reunoilta alaspäin alueelle, johon se ei saisi mennä. Esimerkiksi poistumistienä käytettävän tunnelin katon ollessa täynnä savua oleskeluvyöhykkeen tulisi olla savuton. Jos savulohko on mitoitettu liian suureksi, savu ehtii jäähtyä, jolloin savu alkaa laskeutua reunoilta tasolle, jossa henkilöt ovat, ja aiheuttaa näin savukuolemia. Kuva 8 havainnollistaa savun jäähtymistä. [2, s. 62.]



Kuva 8. Savun laskeutuminen tunnelimaisella poistumistiellä.

Savulohkoille on annettu pinta-ala-rajoituksia Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa E1 ja E2, jotta jäähtymistä ei tapahtuisi. RIL 232-2012 Rakennusten savunpoisto. Suunnittelu, toteutus ja ylläpito -teos ohjeistaa, että suurin sallittu ala koneellisessa savulohkossa olisi $2\,600\text{ m}^2$. Savulohkon pituus ei saisi myöskään ylittää 60:tä metriä. Teoksen mukaan painovoimaisessa savunpoisto-järjestelmässä suurin sallittu pinta-ala on $2\,000\text{ m}^2$. Suunnittelijan vastuulle jää kuitenkin harkinnanvaraisesti suunnittelu osalle tiloista, sillä esimerkiksi Suomen rakentamismääräyskokoelman osa E2 Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus ilmoittaa, että palovaarallisuusluokkaan 1 ja suojaustasoluokkaan 3 kuuluvat rakennukset, joissa on kerroksia 1 tai enemmän, osastojen pinta-alat määritellään harkinnan mukaan.

Savusuluilla katkaistaan savulohko pienempiin osiin. Samalla sulku rajoittaa savun kulkua ja ohjaa sitä haluttuun suuntaan. Sulkuna voi toimia rakennuksenosia tai korkeaa kuumuutta kestäviä seinämiä tai verhoja. Sulkujen kanssa savun ohjaaminen on olennainen osa savunpoistojärjestelmää. Jos savusulut eivät toimi, koko suunnitelma savunpoistosta saattaa mennä pieleen. Tästä syystä on myös hyvä, että savusuluilla on jonkinlainen turvasysteemi, joka takaa sen, että jos yksi osa ei toimikaan, niin koko savunpoistojärjestelmä ei kaadu siihen. [2, s. 63.]

4.4 Koneellisen savunpoiston mitoitus

4.4.1 Laituri-alueen savunpoisto

Suunnitellessa savunpoistoa on tiedettävä savuvirta, jotta voidaan valita puhaltimien määrä sekä yhdestä puhaltimesta vaadittava massavirta. Seuraavassa laskuesimerkissä katsotaan metroasemalla syttyneen lehtikioskin mitoituspaloa. Mitoitus on tehty RIL 232-2012 Rakennusten savunpoisto. Suunnittelu, toteutus ja ylläpito -kirjan mukaan. Metroasemalla on savunpoistotaso 3, eli siellä on automatisoitu koneellinen savunpoistojärjestelmä, joka käynnistyy herätteen avulla.

Esimerkkimitoituksen lähtötiedot:

- Laituri-alueen pinta-ala $2\,250\text{ m}^2$, josta leveys 25 m, pituus 90 m ja korkeus 10 m.
- Seinät kalliota, ruiskubetonipinta.
- Tila on metro-asema, laiture-alue.
- Automatisoitu koneellinen savunpoistojärjestelmä.
- Kaupungin pelastuslaitos toimii alueella.
- Mitoituspalon piiri 12 pr(m).
- Mitoituspalon pinta-ala 10 m^2 .
- Palon tiheys 625 kW/m^2 .

Savulohkon enimmäispituus saa olla korkeintaan 60 m; koska aseman pituus on 90 m, joudumme jakamaan aseman kahteen savulohkoon. Tällöin laskemamme savulohkon alaksi tulee $1\,125\text{ m}^2$. Poistumisreitiltä vaadittu savuton minimikorkeus on 3 m. Tarkastellaan ensimmäisenä paloteho alarajan mukaan. Paloteho voidaan määrittää seuraavalla kaavalla:

$$Q_C = x * q_f * A_f$$

jossa	Q_C	on paloteho (kW)
	x	on korjauskerroin, joka huomioi säteilylämpöhäviöt sekä epätäydellisen palamisen. Käytämme arvoa 0,8, joka RIL 232-2012:n mukaan on yleensä käytetty arvo.
	q_f	on palon tiheys (kW/m ²)

A_f on palon pinta-ala (m^2)

$$Q_c = 0,8 * 625 * 10 = 5000 \text{ kW}$$

Palotehon määrittämisen jälkeen laskemme syntyvän savukaasun massavirran:

$$m_p = C_e * p_f * Z^{\frac{3}{2}}$$

jossa m_p on massavirta (kg/s)
 p_f on palon piiri (m)
 C_e on savunmuodostumiskerroin
 Z on savuton korkeus (m)

Savunmuodostumiskertoimena käytetään kerrointa 0,21, jota käytetään, kun kyseessä on suurehko paloalue.

$$m_p = 0,21 * 12 * 3^{\frac{3}{2}} = 13,0943 \text{ kg/s}$$

Tämän jälkeen määritämme savupatjan lämpötilan nousun:

$$\theta = \frac{Q_c}{m_p * c}$$

jossa θ on savupatjan lämpötilan nousu (K)
 Q_c on paloteho (W)
 m_p on syntyvän savukaasun massavirta
 c on ominaislämpökapasiteetti (1040 J/kgK)

$$\theta = \frac{5000000}{13,0943 * 1040} = 367,16 \text{ K}$$

Savupatjan lämpötila:

$$T_s = T_0 + \theta$$

jossa T_s on savupatjan lämpötila (K)
 T_0 on ympäröivän ilman lämpötila (K)

$$T_s = 294,2 + 367,16 = 661,4 \text{ K}$$

Lämpötilan maksimiarvona toimii 200 °C. Alkulämpötilana on 21 °C, joten maksimissaan lämpötila saa nousta 179 K.

Nyt voidaan määrittää savukaasun massavirta:

$$m_v = \frac{Q_c}{\theta * c}$$

jossa	m_v	on massavirta (kg/s)
	Q_c	on paloteho (W)
	c	on ominaislämpökapasiteetti (1040 J/kgK)
	θ	on lämpötilaero (K)

$$m_v = 5000000 / (179 * 1040) = 26,86 \text{ kg/s}$$

Savukaasun tilavuusvirta:

$$V_v = (m_v T_s) / (p_o T_o)$$

jossa	V_v	on savukaasun tilavuusvirta
	m_v	on massavirta (kg/s)
	p_o	on ilman tiheys (kg/m ³)
	T_s	on savupatjan kriittinen lämpötila (K)
	T_o	on ympäröivän ilman lämpötila (K)

Koska lämpötilan maksimiarvo on 200 °C, saadaan kriittinen lämpötila $T_s = 273,15 \text{ K} + 200 \text{ °C} = 473 \text{ K}$.

$$V_v = (26,86 * 473) / (1,2 * 294,2) = 36 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nyt olemme mitoittaneet savukaasun poiston alarajan mukaan, seuraavaksi voimme laskea ylärajan mukaan. Mitoittamamme tila on hieman poikkeava eli nostetaan palotehon arvo kaksinkertaiseksi siitä arvosta, mitä mitoitimme alarajassa. Maksimissaan arvoa saa nostaa $1\,250\text{ kW/m}^2$.

Lasketaan ylärajan massavirta:

$$m_v = 10\,000\,000 / (179 \cdot 1040) = 53,72\text{ kg/s}$$

Tilavuusvirta:

$$V_v = (53,72 \cdot 473) / (1,2 \cdot 294,2) = 72\text{ m}^3/\text{s}$$

Mitoitetaan savulohkon alue ylärajan mukaan. Asetetaan savunpoisto imuaukkoja 4 kpl savulohkolle eli koko alueelle tulee 8 kpl. Tilavuusvirrasta voimme määrittellä, että yhden imuaukon tilavuusvirta tulee olemaan $18\text{ m}^3/\text{s}$. [2, s. 89–90, s. 100–101.]

4.4.2 Korvausilman saanti

Korvausilman mitoittaminen savunpoistossa on myös tärkeä osa sitä suunnittellessa. Korvausilmalla pystytään sijoittelun avulla ohjaamaan ja kontrolloimaan savuvirtauksia. Korvausilman mitoittaminen on nyt mahdollista, kun olemme saaneet tietoon tarvittavan poiston määrän. Aloitamme selvittämällä savupatjan paksuuden, jotta pystymme määrittämään korvausilman nopeuden, joka vaikuttaa taas korvausilmapääte-elimien korkeuteen. Lasketaan savuton korkeus Z :

$$Z = \sqrt[2]{\frac{m_v}{C_e p_f}}$$

jossa	Z	on savuton korkeus (m)
	m_v	on massavirta (kg/s)
	C_e	on savunmuodostumiskerroin
	p_f	on palon piiri (m)

$$Z = \sqrt{\frac{\frac{2}{3} \cdot 53,72}{0,21 \cdot 12}} = 2,773 \text{ m}$$

Huonekorkeudesta vähennämme Z :n arvon, jolloin saamme savupatjan korkeuden. Huonekorkeutena toimii 6,5 m, jolloin savupatjan paksuus on 3,7 m.

Korvausilma-aukkojen yläreunan pitää olla 2 m savupatjan alapuolella, kun ilmavirran nopeus on yli 3 m/s. Ilmavirran ollessa enintään 3 m/s yläreunan tulee olla vähintään 1 m savupatjan alapuolella. Valitsemme nopeudeksi enintään 3 m/s tässä esimerkkilaskennassa. Nyt voimme laskea savunpoistossa käytettävien korvausilma-aukkojen minimipinta-alan. Ala (A_i) lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$A_i = \frac{V_v}{v_v}$$

jossa	V_v	on savukaasun tilavuusvirta (m^3/s)
	v_v	on korvausilman nopeus (m/s)

$$A_i = 72/3 = 24 \text{ m}^2$$

Seuraavaksi lasketaan vielä korvausilmapuhaltimien ilmavirta seuraavalla kaavalla:

$$V_i = \frac{m_v}{p_o}$$

jossa	V_i	on korvausilman tilavuusvirta (m^3/s)
	m_v	on massavirta (kg/s)
	p_o	on ilman tiheys (kg/m^3)

$$V_i = 53,72/1,2 = 44,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Palo-osaston mitoituksen pystyy myös laskemaan muilla menetelmillä, riippuen tietysti myös aina käytettävästä järjestelmästä ja rakennuksen tai tilan käyttötarkoituksesta. Standardiin CEN TR 12101-5 perustuvassa mitoituksessa tutkitaan aikaan riippuvaista

laskentaa. Ideana on mitoittaa alueet ja pinta-alat kriittisten pisteiden perusteella, jos saavutetaan liian pitkä aika, muutetaan laitteiden aloja ja virtauksia niin kauan, että saadaan tyydyttävä ajallinen tulos. [2, s. 101, s. 102.]

4.5 Koneellisen savunpoiston pääkomponenttien sijoittelu ja suunnittelu

4.5.1 Pääkomponentit

Savunpoistoa suunnitellessa on pääte-elimien ja sulkujen sijoittelulla suuri merkitys siihen, miten savu tulee käyttäytymään. Pääkomponentteihin luetaan mm. puhaltimet, savusulut, palopellit, äänenvaimentimet, kanavat, ohjauskeskukset ja kaapeloinnit. Tämän lisäksi näiden kojeiden suojeleminen on tärkeää. Savunpoistojärjestelmän moottorit ja puhaltimet on pidettävä suojattuna, jotta ne pystyvät toimimaan pitkään palon alettua. Maanalaisissa tiloissa käytetään yleensä koneellista savunpoistoa.

Kuuma savukaasu on ohjattava pois palavasta materiaalista ja seinärakenteista. Tämä on huomioitava, kun sijoituksia tehdään. Savukaasut voidaan ohjata pois rakenteista esimerkiksi oikein sijoitetuilla savusuluilla. Savusuluilla voidaan luoda savulohko, johon savu ohjataan, josta se kuljetetaan savunpoistokanavaan ja sitä kautta ulos tilasta. Lisäksi on otettava huomioon poistumistiet ja niiden sijoitus. Esimerkiksi varmistetaan metrolaiturilta poistumistienä käytettävän portaikon pysyminen vapaana savusta, varsinkin oleskeluvyöhykkeeltä. Poistumisteiden pitäminen vapaana savukaasuista voidaan toteuttaa ylipaineistuksella, jolloin savu ei kulkeudu halutulle alueelle. Savukaasuja voidaan myös ohjata savusuluilla yhdessä savunpoistokanavien kanssa, jotta savu ei pääse poistumistielle. [2, s.116, 120.]

Maanalaisissa tiloissa savuvirtojen kuljetukset voidaan tehdä kanavoinnilla tai kuiluilla, joilla savu viedään maanpinnalle. Savunpoistojärjestelmä pystytään myös integroimaan ilmanvaihto-laitteistoon. Integroitua järjestelmää ei käytetä normaalissa tilanteessa, mutta esimerkiksi suuret kallioluolat tai autosuojat ovat tiloja, joissa sitä käytetään. Tarkastelussa olevat metroasemat kuuluvat myös tähän luokkaan. Järjestelmän pitää täyttää sekä ilmanvaihdon että savunpoiston määräykset. Teknisesti ja suunnittelijan näkökulmasta integroitu järjestelmä tuottaa hieman haasteellisuutta, mutta ei ole mahdotonta. Kyseessä on melko haasteellinen järjestelmä, joten on aina hyvä olla myös yh-

teydessä suunnittelun aikana pelastusviranomaisiin, joilla on myös omat vaatimuksensa tällaisissa kohteissa. [3, s. 16.]

4.5.2 Savunpoistopuhaltimien sijoittelu

Savunpoistopuhaltimet voidaan asentaa ulos palo-osastosta tai palo-osaston sisään. Puhaltimen on kestettävä tulipalon tuomat rasitukset, mikäli se asennetaan palo-osaston sisään. Puhaltimen voi asentaa esimerkiksi kanavaan kiinni, lähelle poistoaukkoa. Esimerkiksi maanalaisissa tiloissa, kun savunpoistokanava nousee ylös maan pinnalle, puhallin voi olla asennettuna pystynousuun tai lähemmäs varsinaista syttymisosastoa. Puhallin voi olla myös integroituna savunpoistoluukkuun, joka sijaitsee maanpinnalla. Tällöin puhallin ei joudu niin kovaan rasitukseen kuin ollessaan lähempänä syttymisosastoa. [2, s. 195.]

4.5.3 Savunhallintakanavien sijoittelu

Savunhallintakanavat voidaan sijoittaa pääsääntöisesti kuten tavalliset ilmanvaihtokanavat. Savunpoistoon käytettävät kanavat on viisainta suunnitella tilan kattoon, johon imuaukot sijoitetaan. Imuaukot voivat sijaita myös seinällä katonrajassa. Paloeristykset pitää olla tehtynä kyseisille kanaville palo-osastonsa luokituksen mukaan. Esimerkiksi jos savunpoistojärjestelmä käyttää ilmanvaihdon kanavia, voivat kanavat kulkea normaalisti kannakoituna katonrajassa. Korvausilmakanavien sijoittelu on sen sijaan hie- man tärkeämpää. Korvausilma pitää tuoda palo-tilanteessa savupatjan alapuolelle. Kanavoinnin olisi siis hyvä kulkea lattianrajassa, jotta korvausilma-aukot voidaan sijoittaa tarpeen mukaan mahdollisimman alas. Kuitenkin, jos samaa korvausilmakanavaa käytetään normaalitilassa ilmanvaihtoon, kanava pitää asentaa siten, että se on sijoitet- tuna savupatjan alapuolelle, johon laitetaan tuloilman pääte-elin. Pääte-elimessä olevat säleiköt ohjaavat ilmavirran maata kohti alaspäin. Kuvasta 15, joka on leikkauskuva, pystytään havaitsemaan korvausilmakanavoinnin kulkevan lattian alla haarautuen siitä ylöspäin, josta tarpeen vaatiessa saadaan korvausilmaa tilaan.

4.5.4 Äänenvaimentimet savunpoistossa

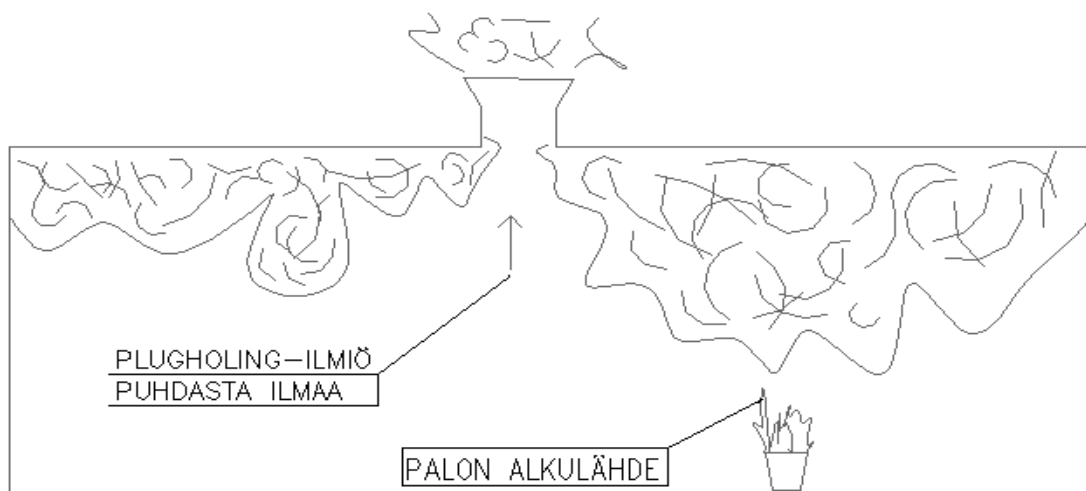
Äänenvaimentimet kuuluvat osaksi savunhallintakanavia. Tästä syystä äänenvaimentimien on täytettävä standardin SFS-EN 12101-7 asettamat vaatimukset. Esimerkiksi jos savunpoistopuhallinta käytetään normaalitilanteessa ilmanvaihtoon, se varustetaan todennäköisesti äänenvaimentimella, riippuen vaadituista äänitasoista. Äänenvaimentimen sijoittelu on yleensä mahdollisimman lähellä itse kojetta, eli jos savunpoistopuhallin on sijoitettu palo-osaston sisälle, on äänenvaimentimen myös kestettävä kuumuus. Se ei saa aiheuttaa savun leviämistä, eikä edistää palon etenemistä. Äänenvaimentimien kestävyys on varmistettava ja testattava standardin EN 1366-8 tai EN 1366-9 mukaan. Vaimentimien on pystyttävä samaan palokestävyyteen kuin kanava, johon se asennetaan. Kuvassa 9 on esimerkki äänenvaimentimesta. Case-tarkastelussa olevalla metroasemalla on äänirajoitus savunpoistolle. Hätäkuulutuksen äänitaso on 54 dB, ja sen on kuuluttava selkeästi savunpoiston ollessa päällä. [10, s. 19; 19, s. 20.]



Kuva 9. Fläkt Woodsin BDER-äänenvaimennin [24].

4.5.5 Koneellisen savunpoiston imuaukon mitoitus

Plugholing-ilmiössä (kuva 10) menetetään huomattavasti tehoa savunpoistossa, jos sen annetaan muodostua. Ilmiössä liian suuri massavirta aiheuttaa sen, että puhdasta ilmaa alkaa virrata imuaukon keskeltä, laskien näin tehoa. Imuaukolla voidaan laskea kriittinen massavirta, jonka avulla voidaan välttyä tältä ilmiöltä ja asettaa raja-arvo massavirralle.



Kuva 10. Plugholing-ilmiö.

Seuraavalla kaavalla voidaan ratkaista kriittinen massavirta ($M_{crit}, kg/s$) koneellisen savunpoiston imuaukolla. Tämä kaava on tarkoitettu käyttöön, kun imuaukko on katon keskiosalla sekä kun ei ole tiedossa imuaukon karakteristista halkaisijaa. Arvoina käytetään luvussa 4.4 saatuja arvoja.

$$M_{crit} = (1,8 \sqrt{g\theta T_o d_p^5}) / (T_s)$$

jossa	g	on maan vetovoiman kiihtyvyys (m/s^2)
	θ	on savupatjan lämpötilan nousu (K)
	d_p	on savukerroksen paksuus (m)
	T_o	on ympäristön lämpötila (K)
	T_s	on savupatjan lämpötila (K)

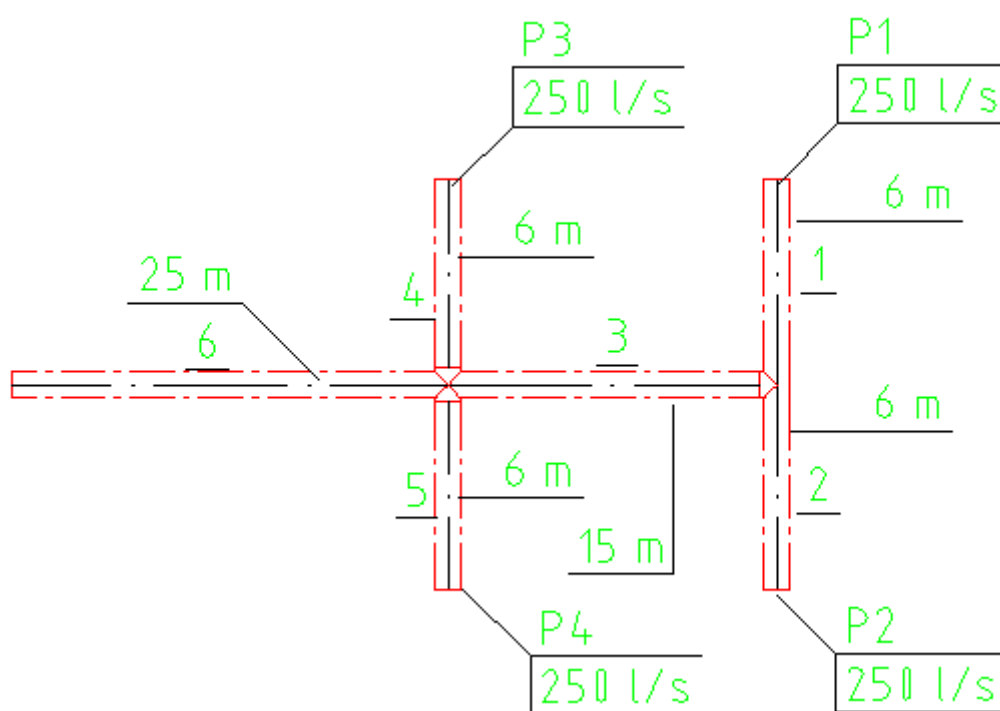
Käytetään aikaisempia arvoja, jolloin saadaan:

$$M_{crit} = (1,8\sqrt{9,81 * 367,16 * 294,2 * 3,7^5}) / (661,4) = 73,8 \text{ kg/s}$$

Imuaukkoja on parempi olla enemmän kuin vähän. Suositusten mukaan olisi hyvä olla 4 kpl imuaukkoja yhteen savulohkoon. Tämän lisäksi koneelliselle savunpoistolle on annettu myös pinta-ala mukainen suositus, joka on 1 kpl imuaukkoja 200 m²:ä kohden. [2, s. 95.]

4.5.6 Savunhallintakanavien mitoitus

Tehdään esimerkki siitä, miten savunhallintakanava voidaan mitoittaa. Savunhallintakanavan mitoitus eroaa ilmanvaihtokanavan mitoituksesta siitä, että nopeudelle ei ole periaatteessa mitään rajaa. Nopeushan pyritään pitämään alhaisena ääniongelmien takia, mutta palotilanteessa kovaa humiseva savunpoisto on pienempi paha kuin myrkyllisten savukaasujen hengittäminen. Tilavuusvirtana käytetään tässä esimerkissä 1 000 l/s. Tässä mitoituksessa tarkastellaan yhtä savulohkoa.



Kuva 11. Mitoitettavat kanavaosuudet.

Kuvaan 11 on merkittynä kanavaosuudet, jotka tässä esimerkissä mitoitetaan. Tavallista ilmanvaihtokanavaa mitoittaessa pystyisimme käyttämään valmistajien tarjoamia mitoitusmonogrammeja, joista saisimme suoraan tilavuusvirran perusteella kitka-painehäviön. Nyt mitoitamme savunhallintakanavaa, jossa kulkee korkealämpöistä ilmaa, tästä syystä joudumme laskemaan käsin tämän mitoituksen, koska ilman tiheys muuttuu lämpötilan muuttuessa.

Ilman nopeus kanavassa savunpoistotilanteessa voi vaihdella riippuen siitä, mikä on riittävä nopeus aina tietylle tilalle. Nopeus määrää myös kuinka iso puhallin tarvitaan sekä mistä materiaalista kanava on tehty, eli kestääkö se vaaditun nopeuden. Tässä mitoituksessa käytämme pyöreää peltikanavaa, jonka nopeus voi vaihdella suuresti. Tiukimmissa paikoissa nopeus saa tällä kanavalla mennä hieman yli 10 m/s.

Aloitetaan mitoittamalla osan 1 osuus. Valitaan nopeudeksi kanavalle 6 m/s. Kanavan kooksi valitaan nyt aluksi $\varnothing 200$, tätä voi muuttaa tarvittaessa, jos painehäviöt ovat esimerkiksi liian suuret. Tätä samaa putkikokoa voidaan käyttää osuuksille 1, 2, 4 ja 5, koska niillä on samat tilavuusvirrat. Osuuden 3 tilavuusvirta koostuu osuuksien 1 ja 2 summasta. Näin ollen osuuden 3 tilavuusvirta on 500 l/s. Nyt alustavasti valitaan osuudelle 3 kooksi $\varnothing 315$. Viimeiseksi lasketaan osuus 6, jossa kulkee koko tarkasteltavan osuuden tilavuusvirta eli 1 000 l/s. Osuudelle 6 valitaan kooksi $\varnothing 500$. Kanavien kokoja voidaan muuttaa vielä jälkeenkäin tasapainoituksen yhteydessä.

Vaikka kanavien koot on nyt valittu, on verkosto vielä tasapainotettava. Ensiksi määritellään kertavastuskertoimet verkoston mutkille ja laajennuksille. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto -kirjasta saadaan kyseiset arvot näille vastuksille. [26, s. 100.]

Osuuksille 1 ja 2 saadaan kertavastuksiksi 1,5. Tasapainottaminen käy helpoiten taulukoimalla luvut ja kaavat taulukko-ohjelmaan, joten käydään läpi vain yhden osuuden painehäviölaskelma, joka voidaan sitten kopioida muillekin osuuksille. Kyseessä on savunpoisto, joten käytetään tässä esimerkissä lämpötilaa 400 °C, jolloin ilman tiheys on 0,524 kg/m³. Ensimmäisenä lasketaan Reynoldsin luku (Re).

$$Re = \frac{V_s D}{\nu}$$

jossa	Re	on Reynoldsin luku
	V_s	on savuvirran nopeus (m/s)
	D	on kanavan halkaisija (mm)
	ν	on viskositeetti, lämpötilan ollessa 400 °C on viskositeetin arvo $62,53 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [25]

$$Re = \frac{6 \cdot 200}{1000} / (62,53 \cdot 10^{-6}) = 19191$$

Kun Reynoldsin luku on saatu, lasketaan dynaaminen paine:

$$P_{dyn} = \frac{\rho v^2}{2}$$

jossa	P_{dyn}	on dynaaminen paine(Pa)
	ρ	on ilman tiheys (Pa), käytetään arvoa $0,524 \text{ kg/m}^3$, joka on 400 °C tiheys [25].
	v^2	on savuvirran nopeus (m/s)

$$P_{dyn} = 0,524 \cdot 6^2 / 2 = 9,432 \text{ Pa}$$

Dynaamisen paineen jälkeen laskemme kitkakertoimen. Seppäsen kirjasta saadaan peltikanaville yleisesti käytettävän likikaava, jota käytämme tässä mitoituksessa. [26, s. 96.]

$$K = 0,0072 + \frac{0,61}{Re^{0,35}}$$

jossa	K	on kitkakerroin
	Re	on Reynoldsin luku

$$K = 0,0072 + 0,61 / 19191^{0,35} = 0,02653$$

Nyt voimme laskea suoralle osuudelle kitkapainehäviön (R , Pa/m)

$$R = \frac{K}{hp} * P_{dyn}$$

jossa	R	on kitkapainehäviö (Pa/m)
	K	on kitkakerroin
	hp	on putken halkaisija (m)
	P_{dyn}	on dynaaminen paine (Pa)

$$R = \frac{0,02653}{\frac{200}{1000}} * 9,432 = 1,25 \text{ Pa/m}$$

Seuraavaksi laskemme painehäviön suoralle osuudelle. Pituus on 6 m osuudella 1 eli:

$$P_{kitka} = 1,25 * 6 = 7,51 \text{ Pa}$$

Nyt voimme laskea kertavastuspainehäviön:

$$K_{vast.p.} = P_{dyn} * b$$

jossa	$K_{vast.p.}$	on kertavastuspainehäviö (Pa)
	P_{dyn}	on dynaaminen paine (Pa)
	b	on kertavastuslukujen summa

$$K_{vast.p.} = 1,5 * 9,432 = 14,148 \text{ Pa}$$

Nyt voimme laskea yhteen $K_{vast.p.}$ sekä P_{kitka} , joista saamme kokonaispainehäviön P_{kok} .

$$P_{kok} = 14,148 + 7,51 = 21,66 \approx 22 \text{ Pa}$$

Taulukko 3. Verkoston osien painehäviöt kaikilla osuuksilla.

Putkiosuus nro	Virtaus l/s	Putken koko Ø	Kertavastus- lukujen summa	Pituus m	Nopeus m/s	Re	Pdyn Pa	K kitk.kerr	R Pa/m	Kitkapaine- häviö. Pa	Kertavastus- painehäviö. Pa	Painehäviö yhteensä. Pa
1	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	7,51	14,148	22
2	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	7,51	14,148	22
3	500	315	0,2	15,0	6	30225	9,432	0,02369	0,70932184	10,64	1,8864	13
4	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	7,51	14,148	22
5	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	7,51	14,148	22
6	1000	500	1,2	25,0	6	47977	9,432	0,02123	0,40042829	10,01	11,3184	21

Edellä tehty laskuesimerkki on nyt toistettu kaikille kanavaosille, kuten taulukko 3 näyttää. Verkosto on tasapainossa, kun osuuksien 1 ja 3 yhteenlaskettu kokonaispainehäviö on yhtä suuri kuin osuuden 4 painehäviö. Voidaan siis huomata, että verkostomme ei ole vielä tasapainossa. Muutetaan osuuden 3 kanavakokoa, jolloin saadaan pienempi painehäviö suoralle, kun kanavaa muutetaan koosta Ø 315 kokoon Ø 500. Tällä kanavakoolla saadaan painehäviöksi noin 0,4 Pa/m, ja se muuttaa kokonaispainehäviön lukemaan 8 Pa. Tämän jälkeen muutetaan osuuden 4 painehäviötä kasvattamalla sitä. Nostetaan osuus 4 nopeuteen 7 m/s, jolloin painehäviö kasvaa 7 Pa. Nämä muutokset tuovat osuudelle 4 kokonaispainehäviöksi 29 Pa.

Taulukosta 4 nähdään, että osuuksien 1+3 kokonaispainehäviöt yhteensä ovat 30 Pa ja osuuden 4 on 29 Pa. Eroa on siis vielä 1 Pa, mikä on niin pieni ero, että hyväksytään tämä 3,4 %:n paine-ero. Verkostolle voidaan hyväksyä 10 %:n paine-ero.

Taulukko 4. Verkoston osien painehäviöt tasapainotettuna.

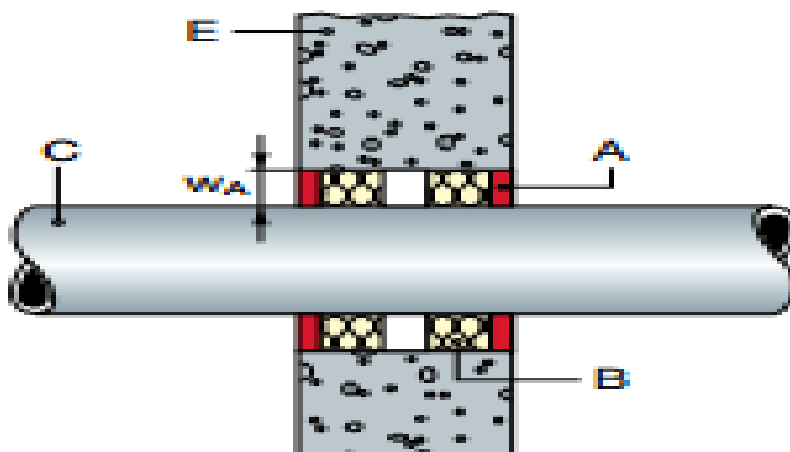
Putkiosuus nro	Virtaus l/s	Putken koko Ø	Kertavastus- lukujen summa	Pituus m	Nopeus m/s	Re	Pdyn Pa	K kitk.kerr	R Pa/m	Kitkapaine- häviö. Pa	Kertavastus- painehäviö. Pa	Painehäviö yhteensä. Pa
1	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	8	14,148	22
2	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	8	14,148	22
3	500	500	0,2	15,0	6	47977	9,432	0,02123	0,40042829	6	1,8864	8
4	250	200	1,5	6,0	7,0	22389	12,838	0,02552	1,637832348	10	19,257	29
5	250	200	1,5	6,0	6	19191	9,432	0,02653	1,251187325	8	14,148	22
6	1000	500	1,2	25,0	6	47977	9,432	0,02123	0,40042829	10	11,3184	21

4.6 Palo-osastojen läpi menevät kanavat

Suunniteltaessa savunpoistoa ilmanvaihtoa tai mitä tahansa LVIS-järjestelmää, on suuri mahdollisuus, että jossain kohtaa kanava, putki tai sähkökaapelit menevät läpi toisen palo-osaston. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan E1 mukaan osastoiden läpi

saa viedä, mutta se pitää tehdä niin että osaston osastovoisuus ei saa heiketä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että pitää tehdä palokatko, jolla saadaan täytettyä määräykset. Osastojen läpi menevien kanavien on myös täytettävä kyseisen palo-osaston luokitus sekä uudet määräykset materiaalien palokestävyydestä, joiden vaatimukset on esitelty standardissa SFS-EN 13501-4. [10, s. 19.]

Palokatkojen tavoite on pitää palo-osaston luokitus, esimerkiksi EI60-luokitus. Tässä E tarkoittaa tiiviyttä ja I tarkoittaa eristävyyttä. Luku kirjaimien perässä tarkoittaa, kuinka monta minuuttia rakenteiden pitää kestää tulipalotilanteessa ilman, että palo leviää toisiin osastoihin. Palokatkon pitää siis täyttää sama luokitus kuin kyseessä olevan palo-osaston rakenne. Jos palo-osaston luokitus on EI120, täytyy myös palokatkon kestää tämä 120 minuuttia. Tämän lisäksi katkon pitää estää kuumuuden ja savukaasujen leviäminen. Palokatkon oikean materiaalin valitseminen on myös oleellinen osa katkoa, kun esimerkiksi käytetään savunpoistossa metallista tehtyä kanavaa, joka ei luhistu heti lämmön noustua, toisin kuin esimerkiksi muoviputket. Yksi vaihtoehto metalliselle materiaalille on laittaa rakenneosan välin täyteen mineraalivillaa tiiviisti ja se vielä tiivistetään akryylipohjaisella palokatkomassalla. Muoviputkille, jotka luhistuvat kuumuudessa, pitää laittaa turpoavaa palokatkomassaa. Yksi esimerkki olisi grafiittipohjainen wrappi, joka lämmitessään reagoi turpoamalla. Tällä tavoin reikä menee umpeen, vaikka muoviputki alkaisi luhistua. [11, s. 8.]



Kuva 12. Palokatko. Eristämätön kanava. A tarkoittaa paloakryylimassaa ja B kivivillaa. Väli wA 10,5 - 35,5 mm. [12]

4.7 Kuilut maanalaisissa tiloissa

Haastavammissa kohteissa tavallinen savunpoisto-ratkaisu ei toimi. Maanalaiset tilat tuottavat haasteita suunnittelijoille kuinka toteuttaa ilmanvaihto tai savunpoisto. Metro-tunnelit, jotka saattavat olla satoja metrejä pitkiä, ovat hyvä esimerkki tällaisesta ongelmasta. Eräässä projektissa, jossa rakennetaan uusia metro-tunneleita, tämä on ratkaistu tekemällä maanpinnalle 600 metrin välein kuilu (kuva 13), joka toimii savunpoiston lisäksi myös normaalioloissa ilmanvaihtokuiluna sekä paineentasajana. Kuilu toimii myös poistumistienä, sillä kuilun keskellä menee erikseen palo-osastoitu portaikko, joka johtaa maanpinnalle. [13]



Kuva 13. Erään tunnelin kuilu raudoitettavana [14].

4.8 Paineistus savunpoistossa

Paineistuksella tarkoitetaan tilan paineistamista ylipaineella, jolloin palotilanteessa mahdollinen savu ei tunkeudu paineistetulle osastolle vaan pysyy syttymisalueella. Paine-ero estää savukaasujen leviämisen halutulle alueelle, kuten poistumistielle, joka

halutaan pitää savuttomana pelastustoiminnan ja evakuoinnin takia. Järjestelmän idea on, että ylipaineistuspuhallin käynnistyy heti herätteen saatuaan palon alkuvaiheessa. Näin ihmiset pääsevät poistumaan poistumistietä pitkin turvallisesti. Liian pieni paine-ero aiheuttaa sen, että savu pääsee tunkeutumaan ei-halutulle alueelle. Liian suuri paine-ero taas aiheuttaa esimerkiksi sen, että ovet eivät suostu aukeamaan, mikä olisi tuhoisaa evakuoinnin kannalta. Paineistettaessa tiloja on suunnittelijan noudatettava SFS-EN 12101-6 + AC -standardia.

Puhaltimet säädetään taajuusmuuntajilla, jotta saadaan oikea paine-ero. Tämän lisäksi paineenalennuspelti sekä paloluukku olisi hyvä asentaa tilaan, jolla pystytään myös ylipainetta säätämään. Paineenalennuspelti purkaa paineen, ja paloluukku osastoi peliin. Paineistettava tila voidaan ylipaineistaa vasta kun tulipalo on syttynyt. Vaihtoehtoisesti voidaan pitää koko ajan yllä pientä ylipainetta, ja kun palo syttyy, tehostetaan ylipainetta, jolloin saavutetaan suurempi paine-ero osastolla. [2, s. 126.]

Maanalaisiin tiloihin saatetaan rakentaa suojatiloja, joiden tarkoituksena on toimia suojana ympäröivältä palolta. Näissä tiloissa pitää olla paine-ero 50 Pa vähintään muihin tiloihin verrattuna. Maanalaiset tilat yleensä on hyvä alipaineistaa varsinkin syttymisosastolla. Näin pystytään hallitsemaan savuvirtauksia. Syttymisosasto alipaineistetaan esimerkiksi -55 Pa ja viereinen osasto paineistetaan -5 Pa. Näin savuvirta kulkee pois päin muista osastoista, ja korvaavaa ilmaa saadaan muista osastoista ilman että savu leviää muihin osastoihin. Maanalaisissa alipaineistetuissa tiloissa on rakenteiden oltava muilta osin myös osastoitu, jotta tulipalo ei leviäisi muualle rakennukseen. Sisälle tuotava korvausilma-järjestelmän pitää toimia sekä tuotavan ilman on oltava mahdollisimman puhdasta. Pitää olla varma siitä että korvausilman mukana ei tule savukaasuja. Ilman tullessa maan päältä, on korvausilman ottopaikan sijainnissa huomioitava, että lähellä ei ole esimerkiksi savunpoistoluukkuja, jotka ovat toiminnallisia samassa palo-osastossa. Ovien, jotka sijaitsevat alipaineistetulla osastolla, tulee olla varustettuina ovipumpuilla, eli ne ovat itsestään sulkeutuvia ja niiden tulee myös olla salpautuvia. [2, s. 140–141.]

4.9 Pelastusviranomaisten rooli suunnittelussa

Rakennettaessa monimutkaisempia tiloja on kannattavaa paloteknisen suunnittelun kannalta olla yhteydessä pelastusviranomaisiin sekä palokonsultteihin. Normaaleissa kohteissa, kuten tavalliset rivitalot, suunnitelmat esitetään hyväksyttäväksi Pelastuslai-

toksen neuvontaryhmälle, joka toimii rakennusviranomaisille asiantuntijoina paloturvallisuuteen liittyvissä asioissa. Vaativimmissa kohteissa, kuten metro-asemilla sekä tunneleissa, on hyvä ottaa yhteyttä Pelastuslaitoksen asiantuntijoihin jo suunnittelun alkuvaiheissa. Yhteistyönä suunniteltu vaativampi järjestelmä auttaa suunnittelijaa luomaan turvallisen järjestelmän, kun tiedetään myös pelastusviranomaisten vaatimukset kohteen suhteen. [28]

5 Case-tarkastelu

5.1 Kohteesta

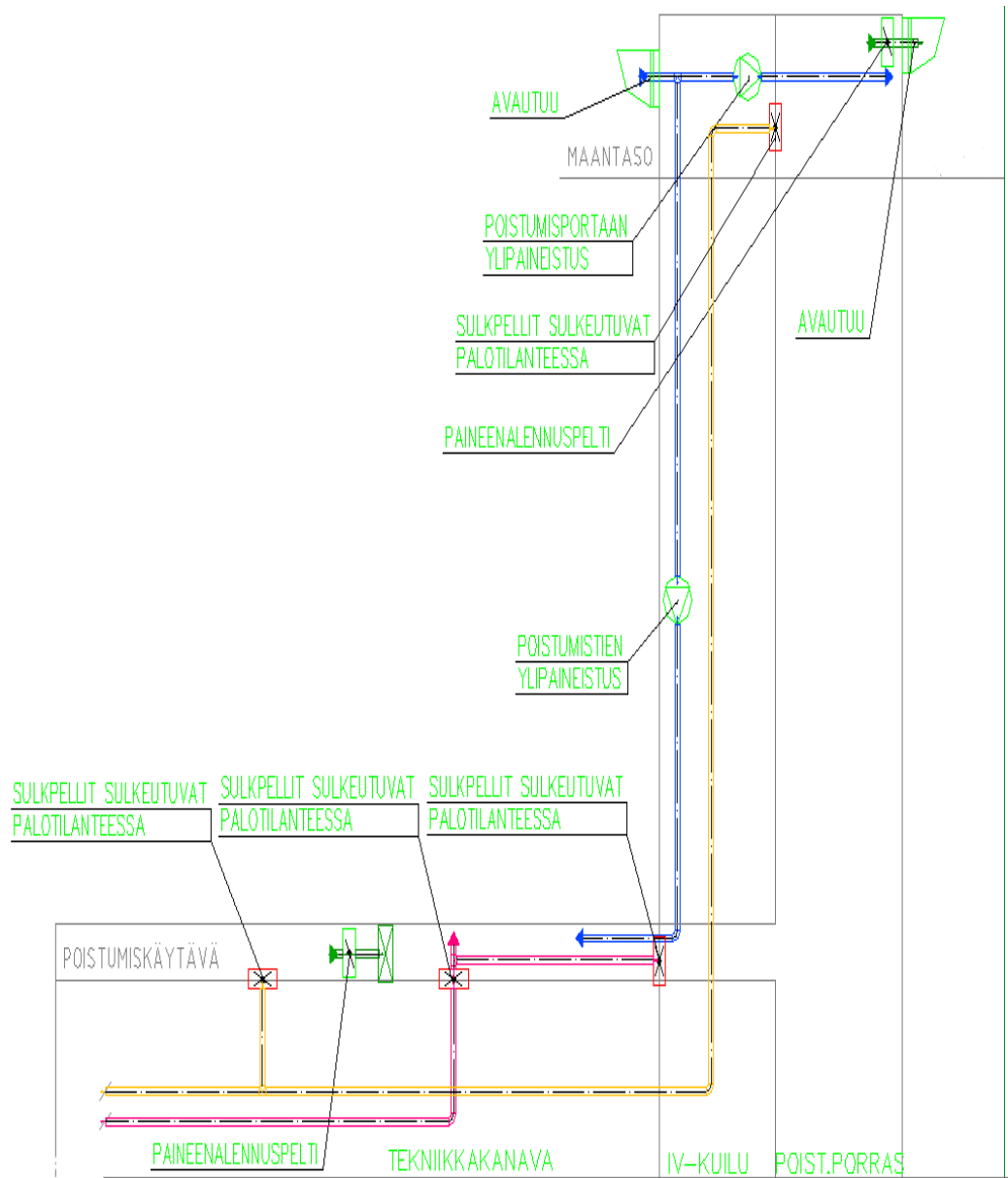
Lähempään tarkasteluun varsinaisesta suunnitteluratkaisusta voidaan ottaa metro-asema. Vaiheittain käydään läpi, missä järjestyksessä kojeet ja järjestelmät käynnistyvät, jos kyseisellä tarkastelun asemalla tulee palotilanne. Tarkastelussa käydään läpi myös muita osia kuin savunpoisto, jotta lukija ymmärtäisi kokonaisuuden aseman tilasta palotilanteen aikana. Tätä asemaa suunniteltaessa eivät vielä olleet voimassa uudet nykyiset SFS-EN 12101-7 -standardin asettamat määräykset kanavien kestävydestä palotilanteessa. Tämä tarkoittaa sitä, että tämän aseman suunnittelussa on hyväksytty kanavan veto usean palo-osaston läpi vanhoilla määräyksillä materiaalin palokestävydestä. Asemalla on automaattinen sammutuslaitteisto, joka toimii herätteiden sekä ohjauskeskuksen varassa. Asema kuuluu siis savunpoistotasoon 3. Aseman poistumistiet, palokunnan hyökkäystiet, palomies- ja evakuointihissit ovat paineistettut. Palokunnan toiminta on näin helpompaa, ja evakuointi on turvattu savun osalta.

5.2 Vaiheistus

Asema on jaettu kahteen eri vaiheeseen, kun järjestelmä kytkeytyy päälle. Ensimmäisen vaiheen pystyy käynnistämään mikä tahansa palo-ilmoitin. Ensimmäisen vaiheen käynnistyessä ei tapahdu varsinaisia sammutustoimenpiteitä. Ilmoituksen tultua sekä hätäkeskukseen että metrovalvomoon menee ilmoitus hälytyksestä. Tämän lisäksi tilan käyttäjille tulee kuulutus palo-ilmoituksesta.

Toinen vaihe käynnistää vasta varsinaiset sammutustoimenpiteet. Jotta toinen vaihe käynnistyisi, se vaatii kaksi eri ohjausta. Vaihe 2 käynnistyy, jos keskus saa kahdelta eri savunilmaisimelta herätteen, savuilmaisimelta sekä sprinkleriltä, savunilmaisimelta ja painikkeelta, tai jos paloilmoitinkaapeli reagoi. Toinen vaihe käynnistää useita eri toimenpiteitä asemalla. Poistumistiet ja hyökkäystiet ylipaineistetaan, ja automaattiset luukut ja palo-ovet sulkeutuvat. Ilmanvaihtokoneet pysähtyvät estäen savun leviämisen. Hissit pysähtyvät tai ohjataan ennalta ohjattuun kerrokseen, ja kaikki alaspäin vievät liukuportaat pysähtyvät. Yleisötilojen automaattiset savunpoistot käynnistyvät halutulla savulohkolla, ja hätäkuulutusjärjestelmä käynnistyy. Laituriseinien junan puoleisella seinällä käynnistyy viiveellä alueellinen automaattinen sammutusjärjestelmä. Valvomo pystyy keskeyttämään tai käynnistämään tämän myös manuaalisesti.

Toisessa vaiheessa aseman ilmanvaihto pysähtyy. Koneiden hätäpysäytyksen lisäksi täytyy savun leviäminen estää palopellein. Tästä syystä koneiden sulkupellit ja asiakastilojen sulkupellit menevät kiinni, jolloin estetään savun pääseminen ilmanvaihtokanavaa pitkin esimerkiksi metroaseman laiturille. Ylipaineistettavien tilojen sulkupellit sulkeutuvat. Samalla ylipainepuhaltimien sekä paineenalennuspeltien paloluukut ja sulkupellit avautuvat. Hälytyksen alla olevan savulohkon savunpoisto käynnistyy automaattisesti.



Kuva 14. Leikkauskuva poistumistien ylipaineistuksesta..

Kuvassa 14 on esimerkki komponenttien toiminnasta poistumistiellä palotilanteessa, eli kun toinen vaihe on käynnistynyt järjestelmässä. Ilmanvaihtokoneet ovat sulkeutuneet ja sulkupellit ovat sulkeutuneet. Luukut avautuvat ja ylipaineistuksen puhaltimet sekä poistumistielle että poistumisportaalille ovat käynnistyneet. Paineenalennuspellit avautuvat. Paineenalennuspellit varmistavat, että ylipaine ei pääse kasvamaan liian suureksi, mikä saattaisi vaarantaa poistumistien käytettävyyden.

5.3 Komponenttien toiminta palotilanteessa

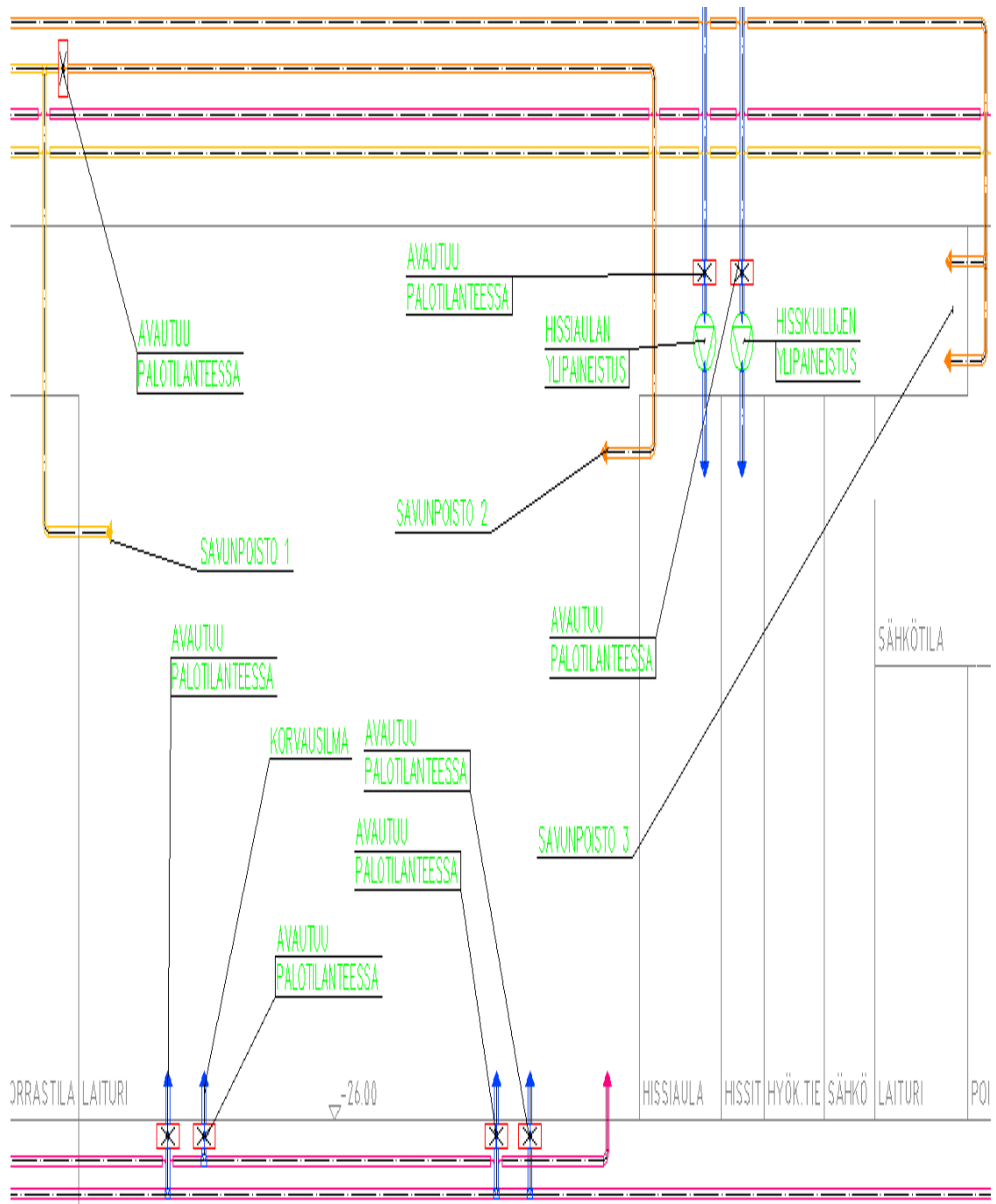
Palotilanteessa aseman savunpoisto käynnistyy automaattisesti syttymisosastolla saatuaan kahdesta kojeesta herätteen. Hissikuilujen ylipaineistus käynnistyy hälytyksen saatuaan. Palokunta pystyy ohjaamaan muiden tilojen savunpoistoa ohjauskeskuksesta, kuten käynnistämään sen halutessaan. Tällä kyseisellä asemalla on osittain integroitu savunpoistojärjestelmä. Tämä tarkoittaa sitä, että palotilanteessa pääsääntöisesti kaikki ilmanvaihtoon käytettävät koneet pysähtyvät ja palopellit sulkeutuvat estäen savun leviämisen. Samaan järjestelmään on asennettu savunpoistopuhaltimet, jotka käynnistyvät palotilanteessa ohjattuna. Samoja kanavia käytetään siis sekä ilmanvaihtoon että savunpoistoon ja korvausilman saantiin.

Palotilanteessa savu johdetaan savunpoistokanaviin savunpoistopuhaltimien avulla, joista se johdetaan jäteilmakanavaan ja sitä kautta ulos asemalta. Korvausilma palotilanteessa johdetaan haluttuun tilaan raitisilmakanavia sekä tuloilmakanavia pitkin savupatjan alapuolelle. Ainoat koneet, jotka toimivat sekä ilmanvaihdossa että savunpoistossa, ovat vauhdituspuhaltimet. Raitisilmakanavassa on vauhdituspuhaltimet, jotka tuovat korvausilmaa, sekä jäteilmakanavissa kiinni olevat jäteilmapuhaltimet, jotka vievät savukaasut ulos asemalta. Palokunta voi halutessaan ohjata näitä puhaltimia halutulla tavalla ohjauskeskuksesta, halliten näin savuvirtoja asemalla. Puhaltimen kattaessa useaa savulohkoa se on varustettu taajuusmuuntajaohjaimella. Savukaasupuhaltimia on 9 kpl sekä korvausilmapuhaltimia on 8 kpl. Puhaltimet sijaitsevat aseman IV-konehuoneessa. Savunpoistokanavat on varustettu moottoroiduilla savukaasupelleillä, eli palokunta voi ohjata peltejä ohjauskeskuksesta.

5.4 Laituri-alue

Esimerkkikuvassa 15 on esimerkkiratkaisu erään metro-aseman laiturin savunpoistosta. Järjestelmä on normaalitilassa ilmanvaihdon käytössä, joten tästä syystä myös tähän on lisätty peltejä, joilla voidaan ottaa käyttöön kanavia, joita ei käytetä ilmanvaihtoon normaalitilanteessa. Palotilanteessa, jossa halutaan käynnistää savunpoisto laituri-alueella, avautuvat ensimmäisenä pellit. Hissikuilun pellit avautuvat ja puhaltimet käynnistyvät hissikuilulla, joka ylipaineistaa hissini. Savunpoisto 1 -pääte-elin (kuva 15) olisi normaalitilassa ilmanvaihdon käytettävissä yksinään. Muut poistot kuvassa eivät ole käytössä kuin palotilanteessa. Palotilanteessa pelti aukeaa savunpoisto 1 -pääte-elimien vierestä vapauttaen näin savunpoisto 2 -pääte-elimien mukaan savunpoistoon.

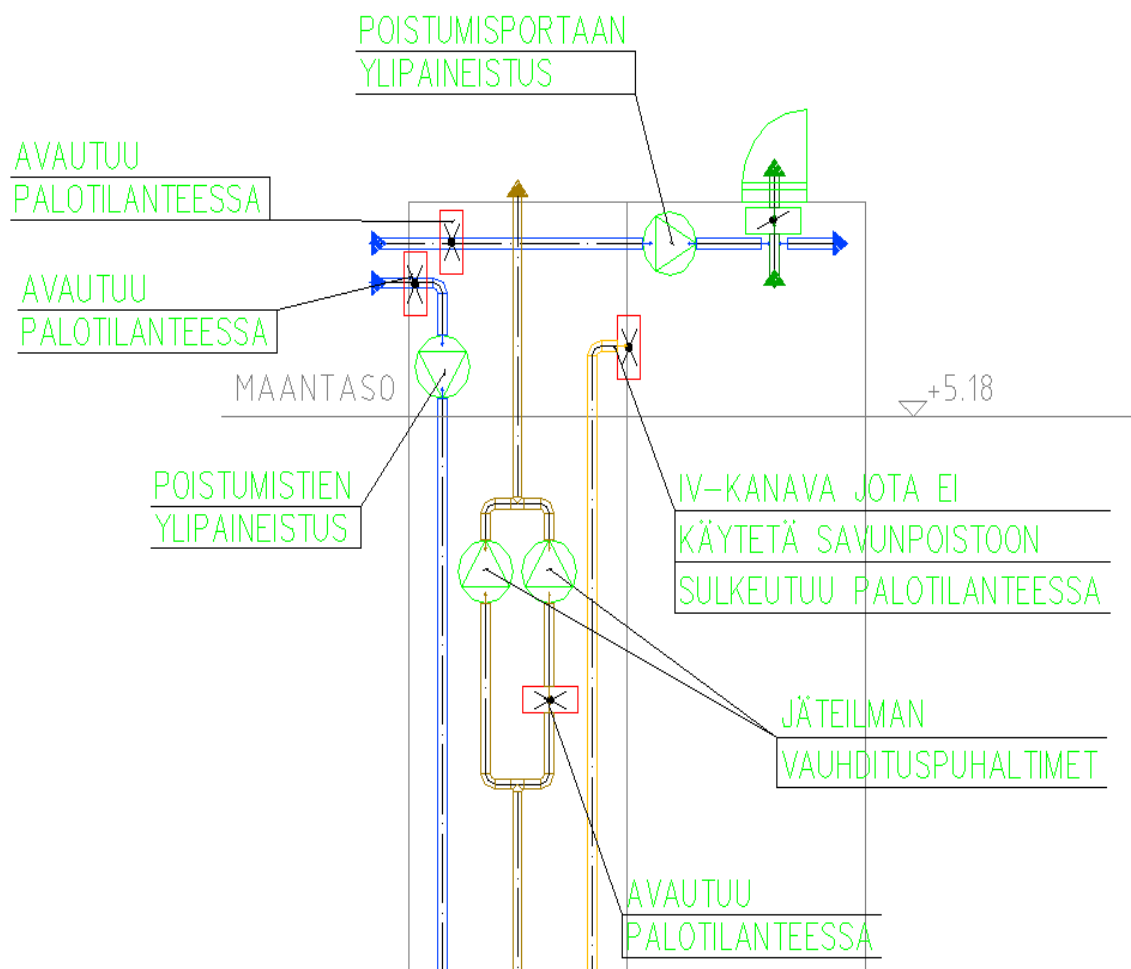
Savunpoisto 3 -pääte-elimet tulevat myös käyttöön, sen pellit aukeavat kun halutaan savunpoisto laiturialueelle. Savunpoisto 3 -pääte-elimien pelti sijaitsee IV-konehuoneessa, joka ei näy esimerkkikuvassa. Kyseistä kanavaa ei siis käytetä ilmanvaihtoon, vaan se on käytössä vain kun on kyseessä palotilanne. Korvausilma tuodaan laiturille alakautta. Tulokanavan pellit aukeavat palotilanteessa, jolloin korvausilma pääsee laiturialueelle. Normaalikäytössä eli pelkästään ilmanvaihtoon ei tarvita kaikkia kanavanosia, tästä syystä käytetään taas palopeltejä. Palokunta pystyy ohjaamaan moottoroituja palopeltejä ohjauskeskuksesta.



Kuva 15. Leikkauskuva laiturialueen savunpoistoratkaisusta.

Esimerkkikuvassa 16 on piirrettynä jäteilmavauhdituspuhaltimet. Puhallin vasemmalla, joka ei ole pellin takana, on toiminnassa myös normaalitilanteessa eli se toimii osana ilmanvaihtojärjestelmää. Palotilanteessa oikealla jäteilmakanavassa oleva pelti aukeaa, ja molemmat vauhdituspuhaltimet osallistuvat näin savunpoistoon. Savu tuodaan savunpoistokanavia pitkin jäteilmakanavaan, josta se poistuu ulos maanpinnalle. Samassa kuvassa on myös paloportaon ylipaineistus, paloporras kulkee tekniikkakuilun vierel-

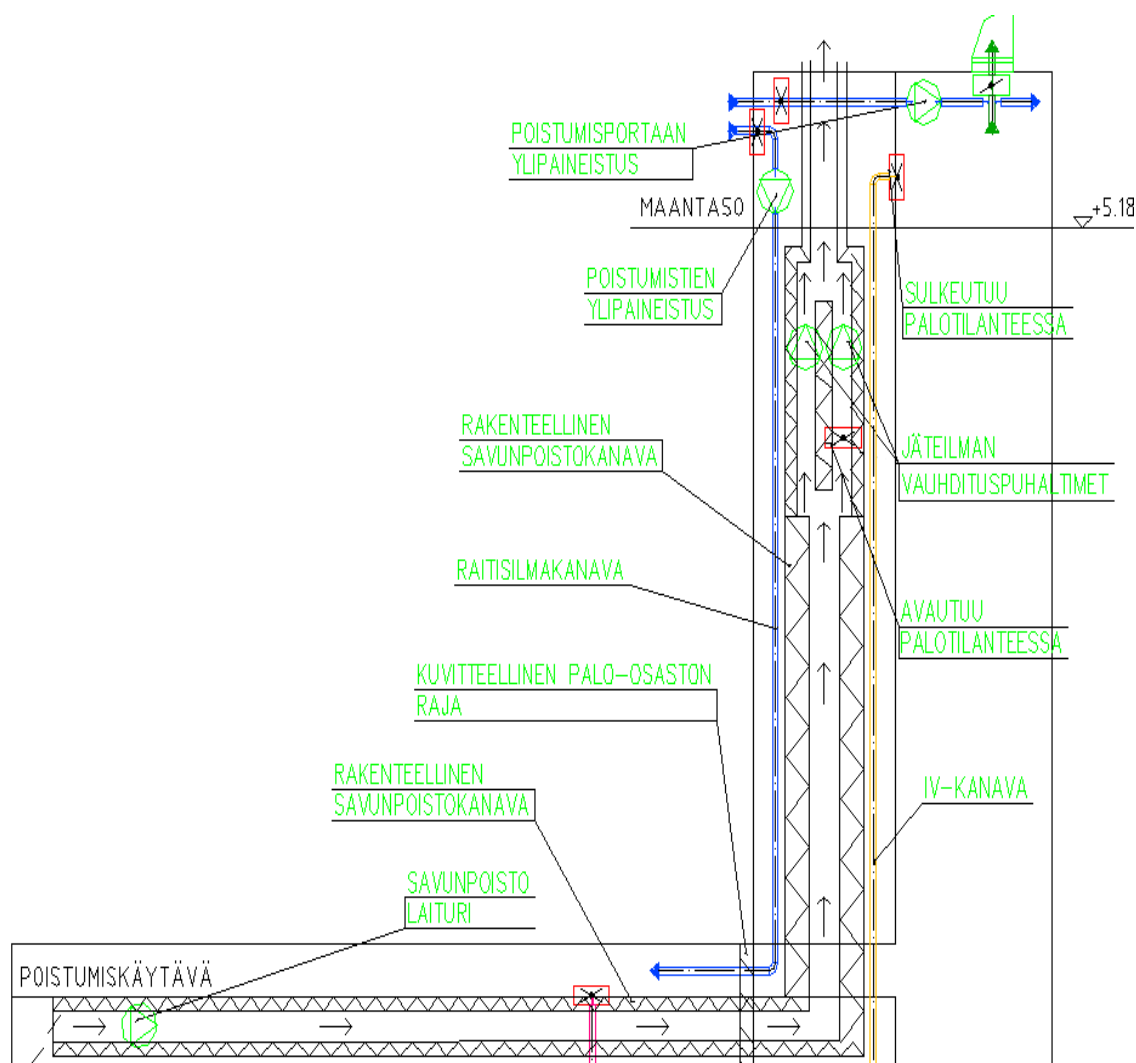
lä. Poistoilmakanavan palopelti sulkeutuu palotilanteessa, eikä kanavaa käytetä savunpoistoon.



Kuva 16. Leikkauskuva jäteilman vauhdituspuhaltimista.

5.5 Usean palo-osaston läpi menevä savunpoistokanava

Tämä esimerkkitapaus oli tehty ennen määräyksien muuttumista, mikä tarkoittaa sitä, että savunpoistokanavan sai vetää usean palo-osaston läpi. Tässä luvussa käsitellään miten olisi toimittu, jos tässä tapauksessa olisikin pitänyt noudattaa nykyistä määräystä kanavien kestävydestä. Miten voidaan toteuttaa savunpoisto, jos kuvan 14 mukainen poistumistie olisikin jaoteltu kahteen eri palo-osastoon, joka haittaa jäteilmakanavan kulkemista maan alta pinnalle?



Kuva 17. Leikkauskuva usean palo-osaston läpi menevästä kanavasta.

Kuva 17 havainnollistaa yhtä ratkaisuehdotusta tällaiseen kohtaan. Tehdään rakenteellinen savunpoistokanava, joka täyttää uudet määräykset standardin SFS-EN 12101-7 mukaan palokestävyydestä. Tämän rakenteellisen kanavan voi tehdä joko betonista tai aikaisemmin mainitusta kalsiumsilikaattilevystä. Tässä pitää huomioida se, että vaikka savunpoistokanavan pitää täyttää tämän standardin määräykset kestävydestä, ei raitisilmakanavaa koske tämä sama määräys. Korvausilmaa tuova raitisilmakanava saa mennä usean palo-osaston läpi, kunhan se täyttää aina kyseisen palo-osaston kestävyden ja tiiviyn. Tämä on sallittua, koska raitisilmakanava ei kuljeta savukaasuja, joten sen ei tarvitse olla kestävydeltään samaa luokkaa kuin savunpoistokanava. Kanavan pitää siis olla paloeristetty ja palokatkot tehtynä palo-osaston eristävyyden ja tiiviyn mukaan. Rakenteellista kanavaa voidaan käyttää ilmanvaihtoon jäteilmakanavana normaalitilanteessa.

6 Yhteenveto

Insinööriyössä luotiin työkalu savunpoiston suunnitteluun ja mitoitukseen maanalaisessa tilassa. Työssä lähdettiin liikkeelle kertomalla savunpoiston tarpeellisuudesta ja perusteista. Työn tavoitteena oli alussa tehdä apuväline savunpoiston suunnitteluun Granlund Oy:n käyttöön. Uusien määräyksien käyttö suunnittelussa sekä tuotteissa tuottaa haasteita, mutta määräykset on tehty, jotta pystymme rakentamaan ja luomaan yhä turvallisempia, parempia ja edistyksellisempiä rakennuksia ja rakennelmia.

Työn lähteet ovat pääsääntöisesti Suomen rakentamismääräyskokoelma sekä Suomen Standardisoimisliiton SFS-standardeja. Tämän lisäksi työssä käytettiin Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n teosta RIL 232-2012 Rakennusten savunpoisto. Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Erityisesti huomioitiin uusia säädöksiä, jotka koskevat usean palo-osaston läpi meneviä kanavia, niiden palokestävyyttä sekä sen tuomaa muutosta suunnitteluun. Työtä tehdessä huomasin, että maanalaiseen rakentamiseen on tehty melko vähän määräyksiä, mikä jättää suunnittelijalle suuremman taakan luoda toimiva ja turvallinen savunpoistojärjestelmä.

Case-tarkastelussa perehdyttiin esimerkkijärjestelmän toimintaan palotilanteessa, järjestelmän osittaisen kanavasijoittelun sekä tilojen ratkaisua, eli kuinka säilyttää tietyt alueet vapaana savukaasuista. Mielestäni työ tuo esille hyvin määräyksien vaatimuksia savunpoistojärjestelmille, luo esimerkin maanalaisesta savunpoistojärjestelmästä ja esittää järjestelmissä käytettäviä tuotteita sekä niille esitettyjä määräyksiä.

Lähteet

- 1 ISO 834-1: 1999, Part 1: General requirements, 1999.
- 2 RIL 323-2012. Rakennusten savunpoisto – Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry, 2012.
- 3 Palontorjuntakäsikirja, 2012. Fläkt Woods Oy.
- 4 Hostikka Simo, Mikkola Esko, Rinne Tuomo, Tillander Kati & Weckman Henry, 2005. Henkilöturvallisuuden kehittäminen maanalaisissa tiloissa paloriskejä pienentämällä. Espoo: VTT.
- 5 Kammiopuhallin, 2015. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy.
<http://www.flaktwoods.fi/27658cce-b279-491c-ab02-78710d5751ea>. Luettu 2.3.2015.
- 6 SFS-EN 12101-3. Savunhallintajärjestelmä, 2002. Osa 3: Savunpoistopuhaltimet. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 7 Tuotanto- ja varastorakennusten paloturvallisuus, 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma, E2. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- 8 SFS-EN 12101-1. Savun- ja lämmönhallintajärjestelmät, 2005. Osa 1: Savunerottimia koskevat vaatimukset. Vaatimukset ja testausmenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 9 SFS-EN 12101-1 + A1. Savunhallintajärjestelmät, 2006. Osa 1: Savusulut. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 10 Rakennusten paloturvallisuus. Määräykset ja ohjeet, 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, E1. Ympäristöministeriö. Helsinki.
- 11 Osastoivat läpiviennit ja -saumat, 2013. Palokatko-opas. Verkkodokumentti. Suomen Palokatko-yhdistys ry. http://www.palokatko-yhdistys.fi/files/palokatko-opas_2013.pdf . Luettu 12.2.2015.
- 12 Palokatko, 2013. Verkkodokumentti. Hilti Oy.
https://www.hilti.fi/medias/sys_master/documents/h46/9116347203614/Technical_information_ASSET_DOC_LOC_2441107.pdf. Luettu 12.2.2015
- 13 Metro-kuilut, 2015. Verkkodokumentti. <http://www.lansimetro.fi/tyomaa-alueet/tapiola/tapiolan-kuilut.html>. Luettu 13.2.2015
- 14 Raudoitettavana oleva kuilu, 2014. Verkkodokumentti. Länsimetro.
<https://www.flickr.com/photos/lansimetro/15145608773/in/set-72157641553051344>. Luettu 12.2.2015.
- 15 SFS-EN 12101-2 Savunhallintajärjestelmät, 2003. Osa 2: Savunpoistoluukut. Suomen Standardisoimisliitto SFS.

- 16 Savunpoistoluukku, 2014. Verkkodokumentti. Keravent Oy.
<http://www.keravent.fi/media/38582.pdf>. Luettu 12.2.2015
- 17 SFS-EN 12101-8 Savunhallintajärjestelmät, 2011. Osa 8: Savunhallintapellit.
Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 18 Savunhallintapelti, 2014. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy.
<http://www.flaktwoods.fi/6012764b-fada-40ec-9d2f-9f56412b1290>. Luettu 4.3.2015.
- 19 SFS-EN 12101-7 Savunhallintajärjestelmät, 2011. Osa 7: Savunhallintakanavat.
Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- 20 Savunhallintakanava. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy.
<http://www.flaktwoods.fi/270ed61c-a4f5-4686-8c7b-3c5c62dd8b85>. Luettu 14.2.2015.
- 21 Savunilmaisin, 2014. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy.
<http://www.flaktwoods.fi/981ef7a7-babb-4304-9913-b48e96a15e2e>. Luettu 13.2.2015
- 22 Ingason Haukur, Li Ying Zhen, Lönnermark Anders. Tunnel Fire Dynamics.
Springer, New York, 2015.
- 23 Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuus, 2003. Suomen rakentamismääräyskoelma, E7. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- 24 Äänenvaimennin, 2014. Verkkodokumentti. Fläkt Woods Oy.
<http://www.flaktwoods.fi/47ddc66d-9346-48b1-a5bb-88dbc9f308d8>. Luettu 24.2.2015.
- 25 Ilman tiheys ja viskositeetti. Verkkodokumentti. The Engineering Toolbox.
http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html. Luettu 26.2.2015
- 26 Seppänen Olli, 2008. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Anjalankoski. SOLVER palvelut Oy.
- 27 Kalsiumsilikaattilevy, 2013. Verkkodokumentti. Abresto Oy.
http://www.abresto.fi/pdf/calcium_silicate_boards_skamol.pdf. Luettu 5.3.2015.
- 28 Pelastusviranomaiset. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin pelastuslaitos.
http://www.hel.fi/wps/portal/Pelastuslaitos/Artikkeli?urile=hki:path:/pela/fi/Onnettomuuksien+ehk_isy/Rakenteellinen+paloturvallisuus/Palotekninen+suunnittelu¤t=true. Luettu 12.3.2015.